

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А. А. Пушкин

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ТУРИЗМЕ

**Пособие для студентов специальности
1-89 02 02 «Туризм и природопользование»**

Минск 2014

УДК 528:004]:338.48-6:502/504(075.8)

ББК 26.1:75.81я73

П91

Рассмотрено и рекомендовано редакционно-издательским советом Белорусского государственного технологического университета

Рецензенты:

заведующий кафедрой туризма и природопользования БГТУ

доктор биологических наук, профессор *В. М. Каплич*;

директор филиала «Космоаэрогеология» РУП БелНИИГРИ

кандидат биологических наук *А. Р. Понтус*

Пушкин, А. А.

П91 Геоинформационные технологии в экологическом туризме : пособие для студентов специальности 1-89 02 02 «Туризм и природопользование» / А. А. Пушкин. – Минск : БГТУ, 2014. – 150 с.

В пособии освещены общие вопросы геоинформационных систем (ГИС) и технологий, специализированное программное обеспечение ГИС и его основные функциональные возможности, рассмотрены принципы и технологии пространственного геоинформационного анализа данных, а также особенности организации данных ГИС, направления и технологии их практического использования в сфере экологического туризма.

Предназначено для студентов специальности «Туризм и природопользование», также может быть использовано специалистами по экологическому туризму в государственных лесохозяйственных учреждениях, национальных парках и заповедниках, использующих в своей практической деятельности геоинформационные технологии.

УДК 528:004]:338.48-6:502/504(075.8)

ББК 26.1:75.81я73

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2014

© Пушкин А. А., 2014

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время деятельность по формированию, продвижению и реализации туристического продукта невозможна без соответствующего информационного обеспечения. Органы управления туризмом и туристические фирмы в своей работе постоянно сталкиваются с задачами применения информационных технологий, которые являются необходимым условием международной интеграции туристического бизнеса как информационно насыщенной сферы. При исследовании туристического потенциала территорий и разработке программ их освоения специалистам приходится сталкиваться с большим количеством информации, характеризующей различные аспекты. Незаменимым средством обработки такого рода информации являются географические информационные системы (ГИС).

Непосредственно в сфере экологического туризма геоинформационные технологии находят применение для организации объектов туризма, оптимизации их положения, разработки туристических маршрутов, использования навигационных средств, создания планово-картографических материалов и интерактивных картографических интернет-сервисов. В лесохозяйственных учреждениях республики используется отраслевая геоинформационная система «Лесные ресурсы», для национальных парков и Березинского биосферного заповедника разработаны специализированные ГИС, по административным районам созданы землеустроительные информационные системы (ЗИС), которые также могут использоваться в экологическом туризме. На современном этапе развития геоинформационные технологии характеризуются тесной интеграцией с технологиями обработки данных дистанционного зондирования (ДДЗ), системами глобального позиционирования и интернет-технологиями, что учтено при подготовке данного пособия.

Студенты специальности «Туризм и природопользование» знакомятся с дисциплиной «Геоинформационные технологии в экологическом туризме» с целью изучения теоретических основ геоинформационных систем и технологий, а также практического их использования в экологическом туризме. В этой связи, наряду с основными понятиями геоинформатики, значительное внимание в пособии уделяется направлениям использования геоинформационных технологий для решения практических задач, возникающих в сфере экологического туризма.

1. ВВЕДЕНИЕ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

1.1. Понятие геоинформационной системы и история развития геоинформационных технологий

Первые географические информационные системы (ГИС) относятся к 60-м годам XX века. Именно в это время возникли предпосылки появления данных систем, обусловленные развитием компьютерной техники и внедрением информационных технологий в различные сферы деятельности, в том числе – связанные с цифровым картографированием и решением пространственных задач. При этом разработка ГИС основывалась на исследованиях, проведенными университетами, академическими учреждениями, оборонными ведомствами и картографическими службами.

Термин «географическая информационная система» впервые был использован в 1963 году Р. Ф. Томлинсоном при создании информационной системы земельных ресурсов Канады (Т. С. Walker, R. K. Miller, 1990) [1, 2]. В общем смысле под ГИС понимают инструменты для обработки и управления пространственной информацией некоторой части земной поверхности.

Таким образом, геоинформационные системы используются в отраслях народного хозяйства, связанных с использованием пространственной картографической информации: землеустройство, транспорт, сельское и лесное хозяйство, природоохранная деятельность и др. В отрасли экологического туризма на геоинформационные системы возлагают задачи ведения специализированных баз данных туристических объектов, проектирования туристических маршрутов и объектов, решения задач навигации на местности, создания туристических планово-картографических материалов, информационно-рекламных картографических Интернет-приложений.

В связи с бурным развитием геоинформационных технологий и широким спектром их применения, а также относительно коротким периодом развития геоинформатики, разные авторы дают разные определения ГИС.

ГИС – информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение пространственно-координированных данных [2].

Существует определение ГИС как реализованных с помощью автоматических средств хранения системы знаний о территориальном аспекте взаимодействия природы и общества, а также программного обеспечения, использующего функции поиска, ввода, моделирования и др. [2].

Одно из самых полных определений ГИС дают исследователи классической геоинформатики. Под геоинформационной системой они понимают аппаратно-программный человеко-машинный комплекс, обеспечивающий сбор, обработку, отображение и распространение пространственных данных, интеграцию данных, информации и знаний для их эффективного использования при решении научных и прикладных задач, связанных с инвентаризацией, анализом, моделированием, прогнозированием и управлением окружающей средой и территориальной организацией общества [3].

С позиций краткости и емкости наиболее удачное определение ГИС дали *R. Bil* и *D. Fritsch* (1991), которое было взято за основу: *геоинформационной системой называется система, состоящая из аппаратных средств, программного обеспечения, данных и пользователей, которая обеспечивает ввод, управление, анализ и представление пространственных и атрибутивных (символьных) данных об объектах на земной поверхности*. Это определение отражает не только структуру ГИС, но и функции, которые она выполняет, хотя не конкретизирует, что информация связана с участками поверхности земли. Такое определение можно дать любой пространственной информационной системе, содержащей пространственные данные. Поэтому, чтобы выделить геоинформационные системы из ряда пространственных информационных систем, целесообразно уточнить, что геоинформационная система (*Geo* – земля) содержит пространственную информацию об участках территории земли. Наглядно классификацию информационных систем и положение ГИС в ней представил М. ДеМерс (рис. 1.1) [4].

Эта классификация показывает разделение между пространственными и непространственными информационными системами и ГИС, в данном случае, относится к категории пространственных информационных систем.

Выделяются также два общих класса пространственных информационных систем: географические и негеографические. Последние, хотя и имеют дело с некоторой частью пространства, обычно не связаны с земной поверхностью и геодезическими координатами. Такие

классы систем, как системы для компьютерного черчения, относятся к негеографическим пространственным информационным системам.



Рис. 1.1. Классификация информационных систем

ГИС могут делиться на земельные и прочие информационные системы. Несмотря на то, что такое разделение во многом искусственно, оно иногда полезно, поскольку разграничивает области применения ГИС. Примером прочих информационных систем являются демографические, основные объекты которых – население, жилищное строительство, экономическая активность, а не территория, на которой находятся данные объекты.

Земельные информационные системы (ЗИС) главным образом предназначены для учета, управления и анализа распределения земельных участков. ЗИС, в свою очередь, подразделяются на системы, учитывающие распределение территории по землевладельцам, и системы, которые такого деления не используют. Последние включают информационные системы по природным ресурсам, национальным паркам, лесному фонду и т. п. Задачи, решаемые этими ЗИС, могут включать отчуждение земли для заповедников, наблюдение за живой природой, прогноз чрезвычайных ситуаций, управление лесами и зонами обитания диких животных, научные исследования.

Применение ЗИС на основе разбиения территории на участки обычно сосредоточено вокруг землевладения и других вопросов кадастровой оценки земель. Для таких приложений необходимы материалы натурной геодезической съемки и развитая геодезическая сеть, по которой возможно точное описание участков. При этом для сбора информации могут применяться как традиционные геодезические мето-

ды, так и возможности систем глобального позиционирования (*NAVSTAR GPS*, ГЛОНАСС). После создания точной геодезической основы и кадастровой системы возможны различные виды анализа изменений в землепользовании с гарантией высокой точности измерений.

Следует также отметить второе значение термина «ГИС» как синонима программных средств, программного продукта, программного обеспечения, реализующего функциональные возможности геоинформационной системы в первом и основном ее значении.

С понятием «геоинформационная система» тесно связан термин «геоинформационная технология». Под *геоинформационной технологией* понимают технологическую основу создания и использования географических информационных систем, позволяющую реализовать функциональные возможности ГИС в форме программных средств.

Развитие геоинформационных систем и технологий привели к появлению новой, особой области информатики, связанной с обработкой и анализом пространственной, координатно-привязанной информации, – геоинформатики. Несмотря на относительно короткий срок своего развития, геоинформатика прошла путь от отдельных научных исследований до производства. Геоинформатика – наука, технология и производственная деятельность по научному обоснованию, проектированию, созданию, эксплуатации и использованию географических информационных систем, разработке геоинформационных технологий и применению ГИС для практических или научных целей. Совокупность методов и приемов практического использования достижений геоинформатики для работы с пространственными данными, управления ими, их представления и анализа, составляют основу геоинформационных технологий.

Основными предпосылками развития геоинформационных технологий являются развитие и широкое распространение компьютерной техники, накопление обширных аэрокосмических и картографических данных, потребность упорядочения сведений в базах данных и др. Следует отметить, что история развития геоинформационных технологий укладывается в малый отрезок времени – 40–45 лет. Можно выделить четыре периода развития геоинформационных систем и технологий: пионерный, государственный, коммерческо-профессиональный, массовый.

Пионерный период (60-е – первая половина 70-х годов XX века) характеризуется накоплением знаний и опыта разработки ГИС. Первые геоинформационные системы гражданского назначения были разработаны и созданы в Канаде и Швеции.

В начале 60-х годов перед Министерством лесного хозяйства и сельского развития Канады была поставлена задача проведения учета и оценки всех имеющихся лесных и сельскохозяйственных ресурсов. Помимо этого необходимо было разработать перспективные планы управления с целью сохранения природных ресурсов, а также провести проверку соблюдения пользователями лесных и земельных ресурсов местного, регионального и национального законодательства. Для выполнения этой сложной в методическом и техническом планах работы при Министерстве лесного хозяйства и сельского развития Канады был создан отдел информационных систем регионального планирования под руководством Роджера Томлинсона. Ему было поручено создать компьютерную систему, призванную реализовать данный проект. В результате проведения работ за 1963–1971 годы создана первая в мире географическая информационная система. В современной научно-технической литературе по геоинформатике данную разработку называют «Канадская ГИС» (*Canadian GIS – CGIS*). Одним из важнейших результатов ее использования было создание карт масштаба 1:50 000. Немногим позднее была разработана база данных на основе тематических слоев и налажен дистанционный доступ к ней.

В те же годы работа шведской школы геоинформатики была сосредоточена вокруг разработки ГИС земельно-учетной специализации, в частности Шведского земельного банка данных, предназначенного для автоматизации учета земельных участков и недвижимости. К середине 1970-х годов в Швеции было разработано 12 геоинформационных систем.

В целом, ГИС первого поколения существенно отличались от современных. Они были ориентированы на решение преимущественно утилитарных задач: инвентаризация земельных ресурсов, учет в системах налогообложения. Основные функции ГИС данного периода состояли во введении в компьютерную среду данных для их хранения, регулярного обновления и несложной обработки, а также создания отчетных документов.

Государственный период (70-е – начало 80-х годов XX века). В первой половине 70-х годов стало очевидно, что у геоинформационных технологий большие перспективы, появились примеры эффективного использования геоинформационных систем, однако стоимость компьютерной техники и программного обеспечения была весьма высока. В этой связи, прежде всего развитие получили проекты, имевшие государственную поддержку и централизованное финансирование.

В этот период сформировалось понятие пространственного объекта, оформились две альтернативные модели данных ГИС – растровая и векторная, включая топологические линейно-узловые представления. Позже была создана технология оцифровки планово-картографических материалов, реализованы задачи геоинформационного анализа данных: наложение (оверлей) разноименных картографических слоев, создание буферных зон, картометрические функции и др.

В эти годы геоинформационные системы развиваются в значительной степени на базе информационно-поисковых систем, постепенно приобретая функции картографических банков данных с параллельным расширением возможностей математико-картографического моделирования и анализа данных.

Новый подъем развития геоинформационных технологий наметился к концу 70-х – началу 80-х годов, когда более широкое распространение получили персональные компьютеры, что, в свою очередь, открыло новые возможности для массового потребителя.

Картографическая продукция этого времени, созданная с использованием ГИС, уже практически не отличается от карт, издаваемых по традиционным технологиям.

Коммерческо-профессиональный подход (80-е – начало 90-х годов XX века). В данный период создаются компьютерные локальные и глобальные сети, персональные компьютеры в ряде организаций вытесняются рабочими станциями. Наблюдается чрезвычайный динамизм развития ГИС: по мнению ряда исследователей, к середине 80-х годов количество созданных ГИС в мире колебалось в пределах от 500 до 2 000 шт. [2, 3]. Именно это время характеризуется массовым созданием ГИС на платформе персональных компьютеров (при этом практически исключительно на *IBM PC*). Появляются первые коммерческие программные средства ГИС, позволяющие широкому кругу специалистов использовать уникальные до этого времени технологии. Один из ярких примеров этого периода – появление наиболее популярного в мире программного обеспечения *ARC/INFO* в Институте изучения систем окружающей среды (*ESRI*, США). Успешное соединение стандартной реляционной системы управления базами данных *INFO* с программой обработки пространственной информации привело к ее созданию. В настоящее время компания *ESRI* является лидером по объемам продаж программного ГИС-обеспечения.

Существенно расширяется круг решаемых задач, геоинформационные технологии проникают во все новые сферы науки, производст-

венной деятельности и образования. В эти же годы осваиваются принципиально новые источники массовых данных для ГИС: данные дистанционного зондирования (информация с американских спутников серии *Landsat*, французских спутников *Spot*, советских систем серии Ресурс и др.), данные глобальной системы спутникового позиционирования (*GPS*). К этому периоду относится появление цифровых методов обработки изображений, которые интегрированы с системами цифровой картографии в ГИС.

В конце 80-х годов начали создаваться глобальные геоинформационные системы и пространственные данные: глобальная природно-ресурсная база данных *GRID* под эгидой ЮНЕСКО, глобальная цифровая карта-основа масштаба 1:1 000 000, ГИС Европейского экономического сообщества *CORINE* и др.

Массовый период (начиная с 90-х годов XX века). Основной его чертой стала доступность ГИС для массового пользователя, развитие сетевых технологий, появление интернета и мобильных устройств, развитие систем дистанционного зондирования Земли и глобального позиционирования.

С позиций программных функций ГИС в данный период интенсивно развиваются технологии пространственного геоинформационного анализа данных: трехмерное моделирование поверхностей, геостатистический анализ данных, использование нейронных сетей.

Наблюдается тесная интеграция ГИС и Интернет-технологий, что приводит к появлению глобальных интернет-ориентированных систем, представляющих пользователям пространственную информацию по всему миру, ярким примером которой является система *Google Maps*. Развитие мобильных устройств, а также соответствующих операционных систем привело к появлению ГИС, предназначенных для работы на планшетах и смартфонах.

В целом, применение ГИС из стадии экспериментов переходит в сферу практического использования во всех сферах.

1.2. Классификация и структура геоинформационных систем

При всем многообразии типов ГИС их классифицируют по следующим признакам [5]:

- назначению – в зависимости от целевого использования и характера решаемых задач;

- по проблемно-тематической ориентации – в зависимости от области применения;

- по территориальному охвату – в зависимости от масштабного ряда цифровых картографических данных, составляющих базу данных ГИС;

- по способу организации географических данных – в зависимости от форматов ввода, хранения, обработки и представления картографической информации.

Следует отметить, что данная классификация является во многом условной, а весьма динамичное развитие геоинформационных технологий делает практически невозможным классификацию всех областей и особенностей использования геоинформационных систем.

Так классификация геоинформационных систем по назначению предусматривает их разделение в соответствии с предметной областью использования и характера решаемых задач на следующие основные группы:

- многоцелевые – предназначенные для использования в различных областях, связанных с обработкой пространственной информации. Такие системы отличает универсальность базовых программных функций, а также наличие внутренней среды разработки пользовательских приложений для адаптации ГИС к решению задач в конкретной области использования;

- информационно-справочные – ГИС, основное назначение которых состоит в поиске картографических объектов с заданным набором атрибутивных данных;

- мониторинговые и инвентаризационные – предназначены для учета изменений характеристик и местоположений пространственных объектов, их анализа и подготовки соответствующих документов;

- исследовательские – предназначены для проведения исследований в различных областях. Отличаются использованием узкоспециализированных функций анализа данных;

- издательские – автоматизированные системы картографирования, предназначенные для проектирования, составления, редактирования, оформления и вывода на печать планово-картографических материалов.

Классификация ГИС по проблемно-тематической ориентации предполагает их деление в зависимости от области применения решаемых в ней научных и прикладных задач. Количество областей использования геоинформационных технологий весьма существенно, постоянно увеличивается, однако среди основных видов данных ГИС следует отметить:

экологические и природопользовательские, земельно-кадастровые (ЗИС), лесохозяйственные, навигационные, инженерные и др.

При классификации геоинформационных систем по пространственному охвату выделяют глобальные, или планетарные, ГИС, общенациональные (зачастую имеющие статус государственных), региональные, и локальные (местные, в том числе муниципальные) геоинформационные системы.

По способу организации географических данных выделяют следующие виды геоинформационных систем:

- векторные – ГИС, предназначенные для работы с векторной моделью данных;
- растровые – ГИС, предназначенные для работы с растровой моделью данных;
- векторно-растровые – универсальные ГИС, позволяющие работать, как с векторной, так и растровой моделью данных. Таких геоинформационных систем большинство;
- трехмерные – ГИС, предназначенные для работы с трехмерными моделями местности.

Классически, в структуре геоинформационных систем выделяют четыре подсистемы [5]:

- сбора, подготовки и ввода данных;
- хранения, обновления и управления данными;
- обработки, моделирования и анализа данных;
- контроля, визуализации и вывода данных.

Основная задача подсистемы сбора, подготовки и ввода данных – формирование баз географических и атрибутивных данных ГИС.

Подсистема хранения, обновления и управления данными ответственна за организацию их хранения, обеспечение процедур редактирования и обновления, обслуживание запросов на информационный поиск, поступающих в систему.

На подсистему обработки, моделирования и анализа данных возлагаются программные функции организации их обработки, обеспечение процедур преобразования, математического моделирования и сопряженного анализа.

Основная задача подсистемы контроля, визуализации и вывода данных – генерация и оформление результатов работы системы в виде карт, графических изображений, таблиц, текстов на твердых или магнитных носителях.

2. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

2.1. Системы координат и картографические проекции в ГИС

Как ранее отмечалось, геоинформационные системы осуществляют работу с пространственными данными. *Пространственные данные (географические) – это набор данных, который определяет географическое местоположение, взаимное расположение и форму объектов местности или распространение явлений.* Они рассматриваются с точки зрения их размещения на поверхности Земли. В этой связи одним из основных требований к геоинформационным системам является обеспечение работы с разными системами координат и картографическими проекциями.

Линейные и угловые величины, определяющие положение пунктов на какой-либо поверхности или в пространстве называют координатами этих пунктов. В геоинформационных системах используют следующие системы координат: географические (геодезические и астрономические), местные прямоугольные и прямоугольные зональные (в проекции Гаусса-Крюгера, поперечной проекции Меркатора).

В географической системе координат положение любой точки на поверхности земного эллипсоида определяется географической широтой и долготой (рис. 2.1).

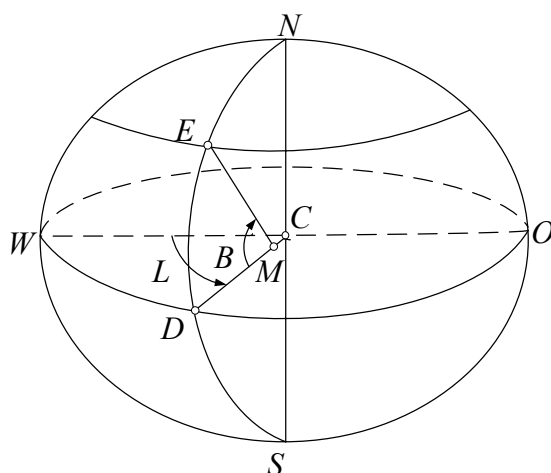


Рис. 2.1. Географические координаты

В соответствии с рис. 2.1 географической широтой точки E называется угол $B = EMD$, составленный плоскостью экватора и нормалью EM к поверхности земного эллипсоида, проведенной через данную точку. Широты отсчитываются от экватора к северу и югу в пределах от 0 до 90° . Широты точек, расположенные к северу от экватора называют северными, а к югу – южными.

Геодезической долготой точки E называется двугранный угол $L = WMD$, заключенный между плоскостями истинного и начального (нулевого) меридианов. При этом за начальный принимается меридиан, проходящий через Гринвичскую обсерваторию (вблизи Лондона). Счет долгот ведут к востоку и западу от начального меридиана в пределах от 0 до 180° . Долготы, отсчитываемые от начального меридиана к востоку, называют восточными, а к западу – западными.

Широта и долгота определяют положение точки на поверхности земного эллипсоида. Для определения положения точки в трехмерном пространстве нужно задать ее третью координату – высоту. В нашей стране и Российской Федерации счет высот ведется от уровенной поверхности, соответствующей среднему уровню воды в Балтийском море. Данная система высот называется Балтийской.

На значения географических координат самое непосредственное влияние оказывают параметры земного референц-эллипсоида. Исторически сложилось, что в разных государствах применяются эллипсоиды с разными параметрами, наиболее используемые из них представлены в табл. 2.1

Таблица 2.1

Основные земные эллипсоиды и их параметры

Название эллипсоида	Год	Большая полуось a , м	Малая полуось b , м	Коэффициент сжатия, $1/\alpha$	Территория
Бесселя	1841	6 377 397	6 377 397	299,15	Евразия, Япония
Красовского	1940	6 378 245	6 356 863	298,3	СНГ, некоторые страны Восточной Европы
WGS-84	1984	6 378 137	6 356 752	298,25722356	Мир
ПЗ-90	1990	6 378 136	6 356 751	298,25783930	Россия (с 1 июля 2002 г.), навигация, военные задачи
СК-95	1995	6 378 245	6 356 863	298,3	Россия (с 1 июля 2002 г.)

Существуют специальные формулы и программные утилиты, позволяющие преобразовывать географические координаты пунктов местности с использованием различных параметров земного эллипсоида.

При работе с цифровыми картами, представляющими небольшие участки земной поверхности, часто используют местную систему координат. Данная система координат основана на плоскости и применяется при изображении ограниченной территории, что позволяет пренебречь кривизной уровенной поверхности. Положение любой точки местности определяется ее прямоугольными координатами X и Y отложенные от определенной начальной точки (рис. 2.2).

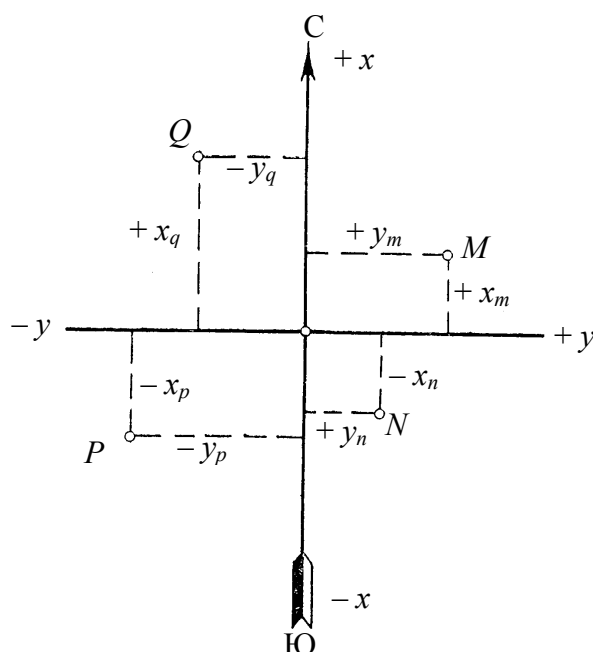


Рис. 2.2. Прямоугольная система координат

При изображении на плоскости значительных территорий пренебрежение кривизной уровенной поверхности приводит к значительным ошибкам в положении контуров местности. В этих случаях используют прямоугольную зональную систему координат в соответствующей картографической проекции.

Картографическая проекция – это определенный способ отображения поверхности земного эллипсоида на плоскости, устанавливающий аналитическую зависимость между координатами точек эллипсоида и соответствующих точек плоскости.

Если на поверхности эллипсоида (S) задана замкнутая область D , ограниченная замкнутым контуром L (рис. 2.3, а) и положение точки M на этой поверхности определено координатными линиями $\lambda = \text{const}$,

$\varphi = \text{const}$, то этой точке на плоскости в прямоугольных координатах X и Y соответствует точка M' (рис. 2.3, б).

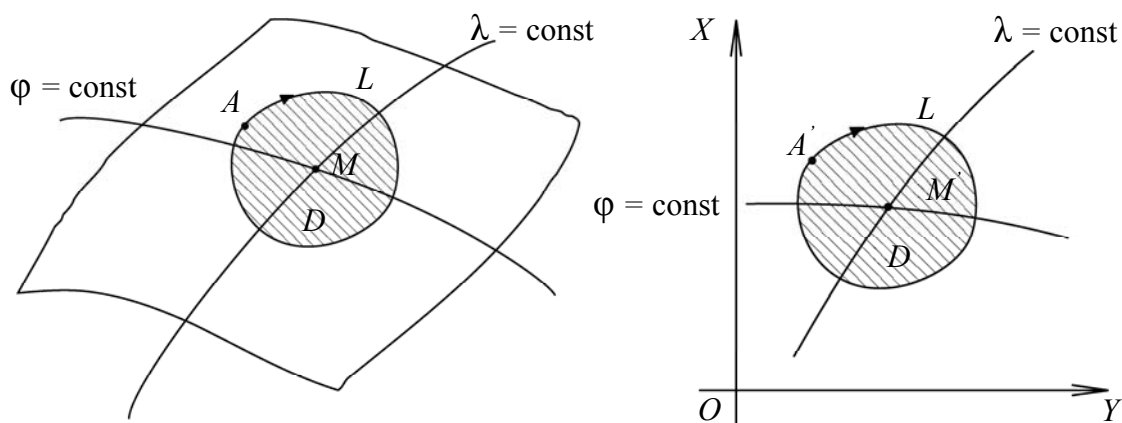


Рис. 2.3. Изображение объекта:

a – на эллипсоиде; b – на плоскости

Между координатами точки M и M' существует связь:

$$X = f_1(\varphi; \lambda); \quad (2.1)$$

$$Y = f_2(\varphi; \lambda), \quad (2.2)$$

где X , Y – прямоугольные координаты на плоскости; φ , λ – географические координаты на эллипсоиде; f_1 , f_2 – независимые, однозначные и конечные функции.

Поскольку поверхности эллипсоида или шара не могут быть развернуты без искажений (растяжений и сжатий) любой картографической проекции присущи искажения длин линий, углов, площадей.

Существует два основных способа построения картографических проекций: геометрический и аналитический.

Геометрический способ получения картографической проекции основан на законах линейной перспективы. Землю принимают за поверхность определенного радиуса, которую проецируют на боковую поверхность цилиндра или конуса (рис. 2.4). Затем последнюю разворачивают на плоскость.

Линии сопряжения касательной или секущей поверхности с поверхностью эллипсоида называются стандартными параллелями, или линиями нулевых искажений.

Аналитический способ построения проекций основан на формулах, устанавливающих функциональную зависимость между точками первой и второй поверхности, имеющих вид (2.1), (2.2).

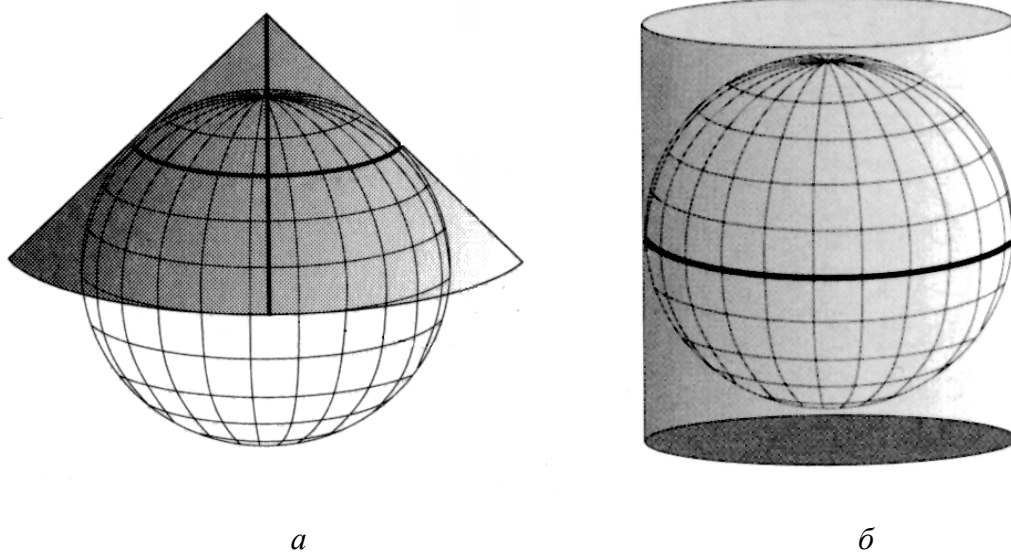


Рис. 2.4. Геометрический способ получения проекции:
а – на основе конуса; *б* – на основе цилиндра

Аналитический способ построения проекций является более гибким, позволяет получить огромное множество новых проекций, изыскивать их по заранее заданному характеру искажения.

В настоящее время разработано большое количество картографических проекций, применяемых в разных странах для различных целей, в связи с чем требуется их классификация.

Известно, что признаков для классификации может быть несколько, следовательно, и классификаций может быть несколько. При этом следует заметить, что одни и те же проекции в зависимости от признака могут попасть в разные группы. Наиболее часто пользуются классификацией Каврайского. Согласно ей, все проекции классифицируются по четырем признакам:

1. Характеру искажения.
2. Виду меридианов и параллелей нормальной сетки.
3. Положению полюса нормальной системы координат.
4. Способу использования.

Наиболее важной характеристикой картографической проекции является характер искажений картографических объектов, который определяется в зависимости от того, что искажается – длина, угол или площадь. Если размеры и форма изображаемой территории в большей или меньшей степени влияет на величину искажений, то характер искажений всецело зависит от самой проекции. Вот почему при выборе проекции решающую роль играет характер искажений.

По характеру искажений проекции бывают:

- равноугольные (конформные);
- равновеликие (эквивалентные);
- равнопромежуточные (экидистантные);
- произвольные.

Равноугольные (конформные) картографические проекции передают на картах углы без искажений и сохраняют в каждой точке постоянный масштаб по всем направлениям (масштаб зависит от положения точки и не зависит от направления). Как следствие, в этих проекциях сохраняется подобие в бесконечно малых частях. На картах в равноугольных проекциях можно измерять углы и азимуты, на них удобно производить измерение длин по всем направлениям.

В равновеликих (эквивалентных) картографических проекциях площади объектов на карте пропорциональны площадям соответствующих объектов на местности. При этом коэффициент пропорциональности – величина, обратная квадрату масштаба карты. На картах в равновеликих проекциях удобно делать измерения и сопоставления площадей.

Равнопромежуточные (экидистантные) проекции сохраняют без искажений масштаб по одному из главных направлений – меридианам или параллелям.

Произвольные картографические проекции – проекции, в которых все перечисленные параметры имеют искажения.

Свойства равноугольности, равновеликости, равнопромежуточности одновременно на одной и той же проекции несовместимы. Проекция, на которой всюду отсутствовали бы искажения длин, т. е. было бы сохранено постоянство масштаба, не существует. На карте могут отсутствовать либо искажения углов, либо площадей. Поэтому характерным свойством картографической проекции является обязательное наличие на карте того или иного искажения.

В настоящее время на территории Республики Беларуси и Российской Федерации наиболее часто используются равноугольные проекции Гаусса – Крюгера, и универсальная поперечная проекция Меркатора (*UTM*).

Система координат в проекции Гаусса – Крюгера была внедрена на территории СССР в 1928 году. Вначале ее использовали только для создания карт масштаба крупнее 1:500 000, а в 80-х годах XX века проекция Гаусса – Крюгера была распространена на весь масштабный ряд топографических планов и карт, включая карты миллионного масштаба. Данная система в настоящее время ши-

роко используется на территории современного СНГ, в том числе Беларуси и России.

Проекция Гаусса – Крюгера разделяет всю поверхность земного эллипсоида на 60 зон меридианами, проведенными через 6° . Форма зоны – сферический двуугольник (рис. 2.5, *а*), а сама проекция при этом построена на цилиндре, в который вписан эллипсоид Крассовского (рис. 2.5, *б*).

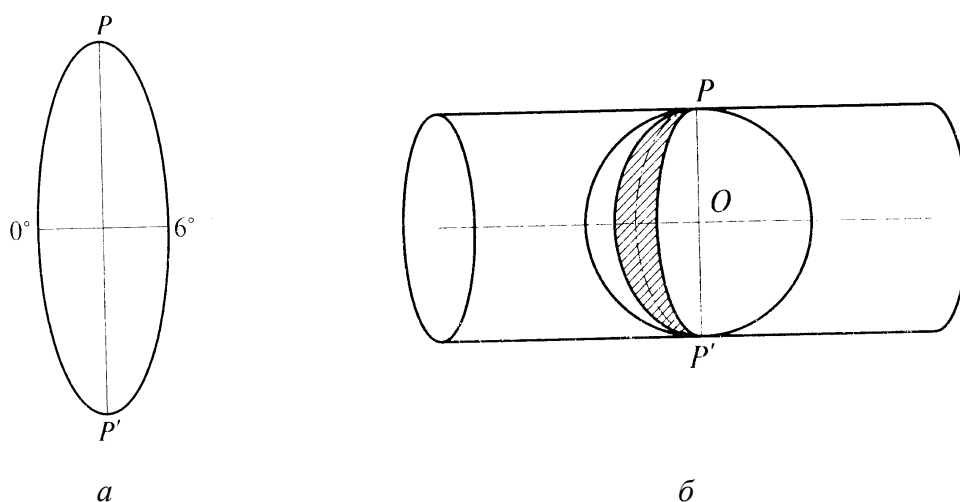


Рис. 2.5. Проекция Гаусса – Крюгера:
а – сферический двуугольник; *б* – схема построения проекции

Ось цилиндра расположена в плоскости экватора и проходит через центр эллипсоида. Цилиндр касается эллипсоида по осевому меридиану данной зоны. Вся поверхность зоны проецируется на поверхность цилиндра при соблюдении условия равноугольности, т. е. углы в ней не искажаются.

Полученные таким образом шестиградусные зоны нумеруют с запада на восток, начиная от нулевого (Гринвичского) меридиана. Средний меридиан зоны называют осевым, долгота которого в Восточном полушарии определяется по формуле:

$$L_0 = 6n - 3, \quad (2.3)$$

где L_0 – долгота осевого меридиана; n – номер шестиградусной зоны.

Поверхность цилиндра разрезается и разворачивается на плоскости, при этом осевой меридиан и экватор изображаются в виде двух взаимно перпендикулярных линий.

Территория Республики Беларусь большей своей частью попадает в 5-ю зону данной проекции, и только небольшая часть Брестской

и Витебской областей – в 6-ю. Следовательно, долгота осевого меридиана для территории Беларуси составит 27° .

В каждой зоне строится своя прямоугольная система координат. При этом за ось абсцисс (X) принимается осевой меридиан шестиградусной зоны, а за ось ординат (Y) – прямолинейное, перпендикулярное осевому меридиану изображение экватора. Во избежание отрицательных ординат применяется ложный восточный сдвиг оси абсцисс на 500 000 м, перед которым указывают номер зоны. Наибольшему искажению подвергаются длины линий расположенных на краях зоны, и чем ближе линия находится к осевому меридиану, тем меньше искажается ее длина. Изображение осевого меридиана и экватора на плоскость передаются без искажений.

Параметры проекции Гаусса – Крюгера: эллипсоид – Красновского; долгота осевого меридиана первой зоны – 3° ; широта точки начала отсчета координат – 0° ; масштабный коэффициент на центральном меридиане – 1; ложный восточный сдвиг – 500 000 м.

Система координат в проекции *UTM* (универсальная поперечная проекция Меркатора) была разработана в 1936 году Международным союзом геодезии и геофизики. В 1947 году принята в Вооруженных силах США. Большую популярность данная проекция получила благодаря ее широкому использованию в системах глобального позиционирования и дистанционного зондирования Земли.

Аналогично проекции Гаусса – Крюгера, *UTM* основана на цилиндре, ориентированном параллельно экватору, где также применяются шестиградусные зоны (рис. 2.5, б).

Однако ее отличие заключается в том, что зоны простираются не от одного полюса к другому, а лишь в полосе от параллели 80° южной широты, до параллели 80° северной широты. В полярных районах применяется азимутальная стереографическая проекция. Для удобства зоны разделены на широтные полосы по 8° . Начиная с 80° южной широты они обозначены буквами от C до X (рис. 2.6).

В координатах *UTM* зоны нумеруются начиная от меридиана перемены дат. В этой связи 1-я зона ограничена меридианами с долготами -180° и -174° , а 60-я зона – меридианами $+174^\circ$ и $+180^\circ$.

Номера зон в *UTM* связаны с номерами в проекции Гаусса – Крюгера в соответствии с условием:

$$N = n + 30, \quad (2.4)$$

где N – номер зоны в проекции *UTM*; n – номер зоны в проекции Гаусса – Крюгера.

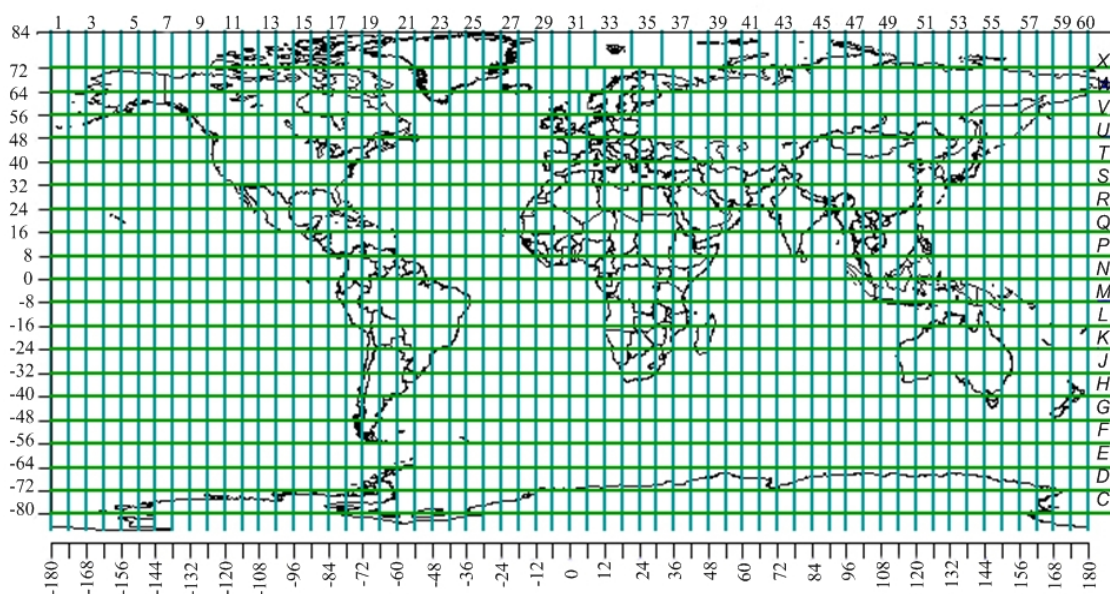


Рис. 2.6. Универсальная поперечная проекция Меркатора (UTM)

Большая часть территории Республики Беларусь попадает в 35-ю зону данной проекции, а небольшая часть – в 34-ю и 36-ю.

В пределах каждой зоны строится своя прямоугольная система координат. В отличие от проекции Гаусса – Крюгера, ось X имеет направление на восток, а ось Y – на север. Чтобы исключить отрицательные координаты, проекция изменяет значения в начале координат. Величина сдвига от центрального меридиана (ложный восточный сдвиг) составляет 500 000 м.

Параметры универсальной поперечной проекции Меркатора: эллипсоид – *WGS-84* (наиболее часто используемый, однако в России часто применяют эллипсоид Красновского), долгота осевого меридиана первой зоны – -177° ; широта точки начала отсчета координат – 0° ; масштабный коэффициент на центральном меридиане – 0,9996; ложный восточный сдвиг – 500 000 м.

Современные геоинформационные системы поддерживают большое количество картографических проекций, эллипсоидов и систем координат. Кроме того, пользователю, как правило, представляются возможности по установке соответствующих параметров проекции: долгота осевого меридиана, коэффициент сжатия, ложный восточный сдвиг, вид эллипсоида и др.

Данные об используемой проекции и системе координат, как правило, хранятся во внешнем файле метаданных. Например, в геоинформационной системе *ArcGIS* такой файл имеет расширение *.prj*. Кроме того, ГИС предоставляют пользователю возможности преобра-

зования картографических проекций, что обеспечивает совместимость пространственных данных, полученных из разных источников.

2.2. Модели пространственных данных геоинформационных систем

В геоинформационных системах данные разделены, как правило, на две группы: пространственные (геометрические) и тематические, или атрибутивные, данные.

Базовыми принципами организации пространственных данных являются принцип послойной организации (классический) и объектно-ориентированный подход, которые определяют представление пространственных объектов в ГИС. *Пространственный объект (географический объект, геообъект) – цифровая модель объекта местности или явления, содержащая данные о его местоположении, набор свойств и атрибутов.*

Принцип послойной организации данных заключается в делении пространственных объектов местности на определенный перечень картографических слоев [1, 4].

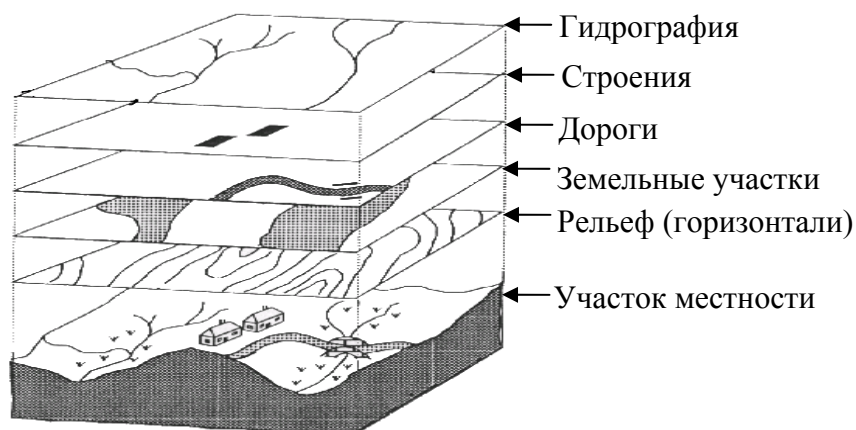


Рис. 2.7. Принцип послойной организации пространственных данных

Картографический слой – полный набор однотипных объектов одного класса в пределах данной территории

При этом выделяют следующие основные типы пространственных объектов: точечные (0-мерные), линейные, площадные (полигональные), пиксели растровых изображений, ячейки регулярных сетей.

Характеристики типов пространственных объектов рассмотрены ниже в рамках различных моделей данных.

Объекты одного картографического слоя образуют некоторую логически (а часто и физически) отдельную единицу данных. Как правило, они собираются в один файл или каталог, имеют единую систему координат и отдельную систему идентификаторов, к ним можно обращаться, как к некоторому множеству. Например, в один слой выносятся объекты гидрографии, строений, дорожной сети, горизонталей и др.

Сформированный таким образом «слоеный пирог» образует общий вид цифровой карты, который пользователь видит на экране монитора. Геоинформационные системы включают ряд программных функций по управлению картографическими слоями: включение и отключение, изменение атрибутов отображения (толщины контуров, цвета, типа заливки), настройка масштабов отображения, конвертация форматов и др.

Зачастую такой подход к реализации структуры данных в ГИС называют геореляционной моделью. Суть данной модели заключается в раздельном хранении картографических данных в системе файлов, а атрибутивных данных – в базе данных (БД). При этом ГИС осуществляет совместное согласованное управление целостной информацией объектов, распределяемой между файловой системой и БД. Эта модель основана на геометрическом типе объекта и отображает мир в виде наборов точек, линий и полигонов, а операции с геометрическими свойствами организованы как отдельные процедуры.

Объектно-ориентированный принцип организации данных в ГИС делает акцент не столько на общих свойствах пространственных объектов, сколько на их положении в какой-либо иерархической схеме классификации и взаимоотношениях между объектами. При объектно-ориентированном подходе организации данных ГИС нет различий между геометрическими и атрибутивными данными.

Объектно-ориентированный и послойный принцип организации данных не противоречат друг другу. Удачный симбиоз этих подходов представлен в базе геоданных геоинформационной системы *ArcGIS*. База геоданных – технология, позволяющая хранить пространственные и атрибутивные данные различных картографических слоев в одном файле. Такой подход значительно упрощает администрирование данных, а также позволяет определять отношения между объектами.

Практика использования геоинформационных систем показывает, что в настоящее время преобладает послойный принцип организации данных.

Способы организации цифровых описаний пространственных данных принято называть моделями данных.

В настоящее время наибольшее распространение получили следующие модели пространственных данных:

- растровая на регулярной сетке (с одним размером ячейки);
- векторная (нетопологическая и топологическая);
- модель нерегулярной триангуляционной сети (*TIN*).

Растровая модель данных. Растровая модель данных в ГИС предполагает разбиение географического пространства (координатной плоскости) с содержащимися в нем пространственными объектами на неделимые дискретные элементы, упорядоченные в виде прямоугольной матрицы. Наименьший элемент растрового изображения, получаемый в результате его разбиения на далее неделимые элементы, называют пикселем (рис. 2.8).

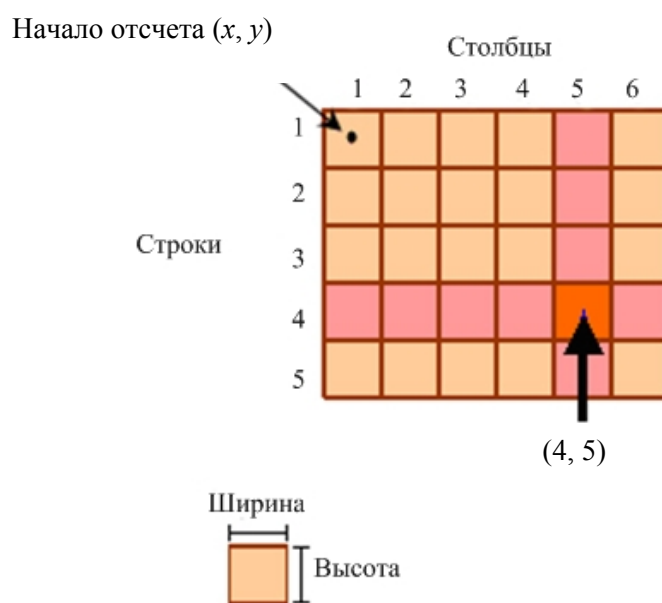


Рис. 2.8. Растровое представление пространственных данных

Помимо картографической проекции, система координат набора растровых данных включает размер ячейки и базовые координаты (обычно левого верхнего пикселя).

Эти свойства позволяют описать набор растровых данных как серию значений ячеек, начиная с левого верхнего угла. Местоположение каждой ячейки можно автоматически получить, зная координаты начала отсчета, размер ячейки и количество строк и столбцов.

Основная область применения растровых данных – средние и мелкие масштабы 1:10 000 – 1 000 000.

В растровом представлении данных нет подразделения по типам картографических объектов (точки, линии и полигоны), а также не

существует логической связи между отдельными пикселями изображения. Растровые данные содержат лишь информацию о свойствах пикселя (тон, цвет). Растровые структуры данных не обеспечивают точной информации о месторасположении, поскольку географическое пространство поделено на дискретные ячейки конечного размера и вместо точных координат пунктов местности имеются отдельные ячейки растра, в которых эти пункты находятся (рис. 2.9).

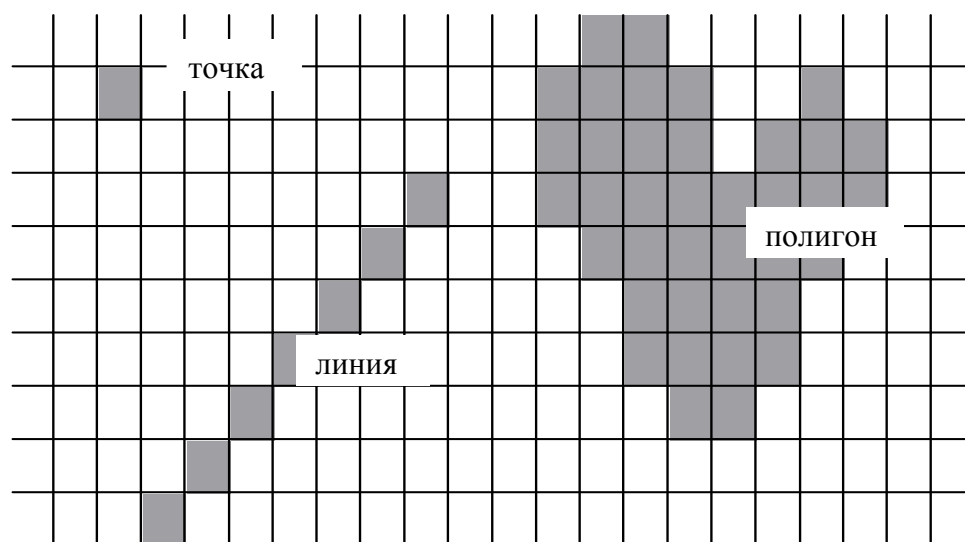


Рис. 2.9. Представление пространственных объектов в растровой модели данных

При изображении точечных объектов они приобретают форму и размеры пикселя.

Линии (одномерные объекты) изображаются как цепочки соединенных пикселей. При этом происходит изменение пространственной размерности: линия находится внутри пикселей растра и изображается в виде ступенчато расположенных отрезков.

Площадные объекты изображаются в виде групп пикселей, при этом границы объектов также имеют ступенчатую структуру.

Растровые графические данные характеризуются следующими основными показателями, которые определяют их качество и возможности использования в геоинформационных системах для решения тех или иных задач: разрешение, тип изображения (глубина цвета), формат данных.

Разрешение – количество пикселей изображения, приходящихся на единицу длины (дюйм). Данный показатель обозначается аббревиатурой *dpi* – *dot per inch*. Например, разрешение в 300 *dpi* указывает, что на один дюйм изображения приходится 300 пикселей.

В ГИС и системах обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗ) применяют термин «пространственное разрешение» – длина сторон пикселя изображения на местности. Так, изображения космического спутника дистанционного зондирования *Landsat*, имеют пространственное разрешение 60 м, а спутника *GeoEye* – 0,41 м. Эта одна из важнейших характеристик ДДЗ, определяющая сферу их применения.

С понятием разрешения весьма тесно связана точность представления границ пространственных объектов (рис. 2.10).

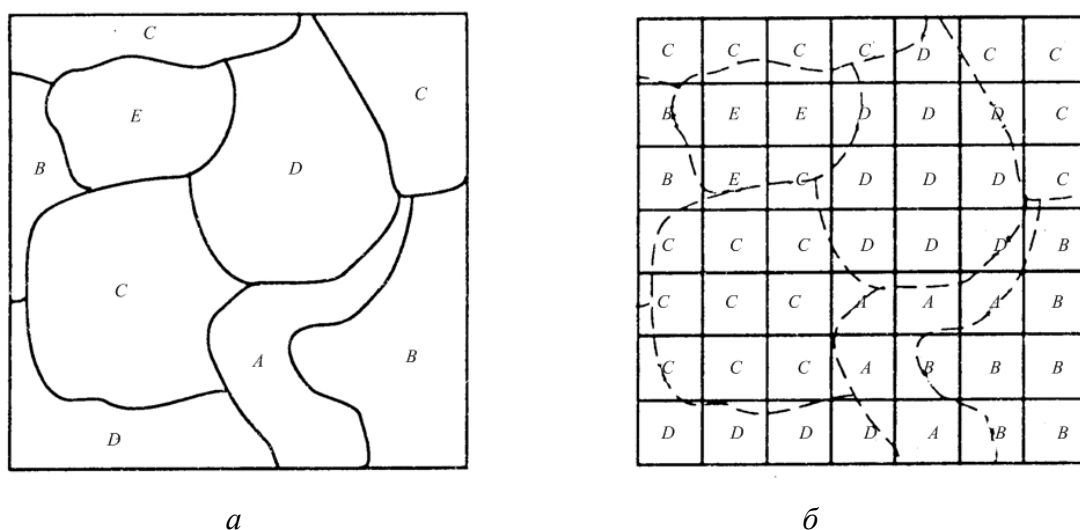


Рис. 2.10. Точность представления пространственных объектов в растровой модели данных:

- a* – исходная карта контуров полигональных объектов *A, B, C, D, E*;
б – изображение контуров полигональных объектов *A, B, C, D, E* на матрице размером 7×7 пикселей

Чем выше разрешение растрового изображения (чем больше количество пикселей на единицу длины), тем более точные границы пространственных объектов данное изображение показывает.

Цвет каждого пикселя хранится в компьютере как комбинация битов. Соответственно, чем больше битов используется для пикселя, тем больше оттенков цветов можно получить. Число битов, используемых компьютером для каждого пикселя, называется битовой глубиной, или глубиной цвета. В зависимости от различной глубины цвета выделяют следующие типы растровых изображений: черно-белые штриховые (монохромные); полутоновые (в оттенках серого); с индексированным цветом; полноцветные (табл. 2.2).

Типы растровых изображений

Тип изображения	Глубина цвета (бит/пиксель)	Количество цветов	Название цветового режима
Черно-белое	1	2	<i>bitmap (line art)</i>
Полутоновое	8	256	<i>grayscale</i>
С индексированным цветом	4	16	<i>indexed color</i>
	8	256	<i>indexed color</i>
	16	65 536	<i>high color</i>
Полноцветное	24 и более	16 777 216	<i>true color</i>

Черно-белые изображения – изображения, в которых на каждый пиксель отводится один бит информации. Одним битом кодируются два состояния, в данном случае это два цвета: черный и белый. Этот тип изображения называется *bitmap*. Глубина цвета такого изображения – один бит.

В полутоновых изображениях (*grayscale*) пиксель кодируется 8 битами (8 бит составляют 1 байт). Глубина цвета изображения данного типа составляет 8 бит, а каждый его пиксель может принимать 256 различных значений. Значения, принимаемые пикселями, называются серой шкалой. Серая шкала имеет 256 градаций серого цвета, каждая из которых характеризуется значением яркости в диапазоне от 0 (черный) до 255 (белый). Этого вполне достаточно, чтобы правильно отобразить черно-белое полутоновое изображение, например, черно-белый аэрофотоснимок.

Цветные изображения получают при сочетании трех основных цветов: красного, зеленого и синего. Данный вид растровых изображений характеризуется соответствующими цветовыми палитрами: с индексированным цветом и полноцветное. Цветные изображения с индексированным цветом используют ограниченную цветовую палитру, поскольку 16 (256) цветами невозможно полностью передать всю цветовую гамму фотоизображений. Однако, изображения с индексированным цветом часто используются вместо полноцветных, так как для их хранения и обработки требуется гораздо меньше ресурсов памяти компьютера. Например, топографическая карта имеет всего 8 цветов, и нет смысла хранить ее в полноцветном или даже в 256-цветном режиме.

В полноцветном режиме (*true color*) каждой цветовой составляющей (красной, зеленой и синей) отводится по одному байту, а каждый пиксель такого изображения кодируется 24 битами. В таком режиме можно отображать 16,7 млн. цветов.

Таким образом, значения пикселей растрового изображения могут представляться одним из трех базовых способов (рис. 2.11).

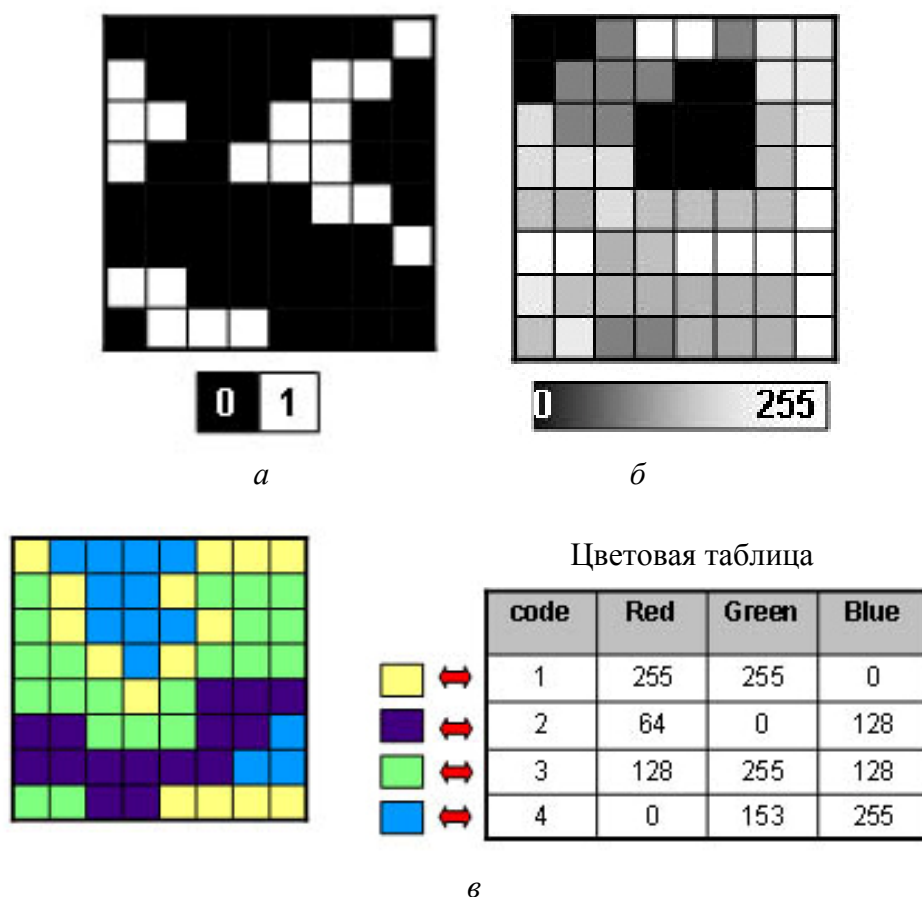


Рис. 2.11. Отображение одноканальных растровых изображений:
а – черно-белое; *б* – полутоновое; *в* – цветное

При характеристике глубины цвета материалов космической съемки часто используют синоним данного термина – радиометрическое разрешение.

Набор растровых данных может иметь несколько каналов. В таком случае каналы набора растровых данных используют одну и ту же сетку, но значения пикселей в них – разные. Как правило, многоканальные растровые изображения нужны для хранения многозональных (мультиспектральных) космических снимков. При этом один канал в таком изображении представляет значения пикселей в определенном участке спектра электромагнитных волн, зафиксированных сенсором, включая диапазоны, не видимые глазом – инфракрасные или ультрафиолетовые области спектра. Количество каналов в изображении зависит от вида съемочной аппаратуры спутника дистанционного зондирования и может составлять 4–14 и более. Для визуализации такого изображения в ГИС требуется установить, какие каналы относятся к красному, зеленому и синему цветам (рис. 2.12).

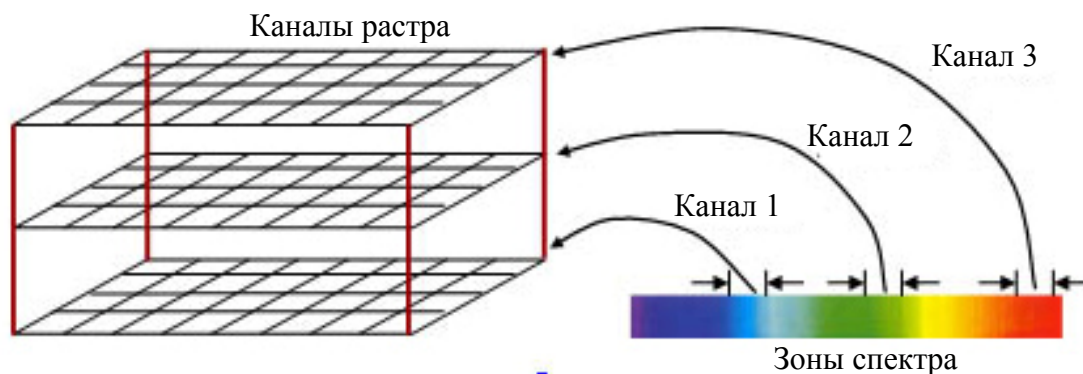


Рис. 2.12. Многоканальное растровое изображение

Многоканальные изображения позволяют более четко разделять пространственные объекты на материалах аэрофото- или космической съемки, а также формировать контрастные синтезированные цветные изображения.

Цвета в природе редко бывают чистыми. Как правило, работа осуществляется с цветовыми оттенками, представляющими собой смешение основных цветов. Способ разделения цветового оттенка на составляющие компоненты называется цветовой моделью. При представлении цифровых изображений на мониторах компьютеров, в том числе и в геоинформационных системах, используют цветовую модель *RGB*. В данной модели любой цвет получают путем сложения трех основных цветов – красного, зеленого и синего. При их попарном сложении получают желтый, голубой и розовый цвета. При сложении всех трех основных компонентов получают нейтральный белый цвет. Изображение представляется в проходящем свете.

Цветовая модель *CMYK* используется для представления изображений, которые будут выводиться на печать. Данная модель является четырехканальной, и для получения любого цвета используются следующие основные цвета: голубой, пурпурный, желтый и черный. Основное отличие от модели *RGB* заключается в том, что изображение представляется не в проходящем, а отраженном свете.

В настоящее время существует большое количество форматов растровых данных, которые отличаются областью использования, степенью сжатия данных, а также качеством представления информации. Форматы растровых данных, используемые в настоящее время в геоинформационных системах, условно можно разделить на две группы: стандартные форматы растровой графики, используемые в графических редакторах общего назначения (*BMP*, *GIF*, *JPEG*, *TIFF*) и специализированные форматы, предназначенные для применения сугубо в геоинформационных системах и системах обработки данных дистанционного зондирования (*GeoTIFF*, *ECW*, *IMG*). Отличительной

особенностью форматов второй группы является возможность хранения данных о пространственной привязке в структуре файла изображения, а также оптимизированные возможности работы с многоканальными растрами.

Формат растровой графики *BMP*, созданный корпорацией *Microsoft*, ориентирован на применение в операционной системе *Windows*, поддерживает только изображения модели *RGB* с глубиной цвета до 24 бит. Изображения данного формата характеризуются большим объемом и предназначены только для визуализации в программах *Windows*. Формат *BMP* нельзя использовать для веб-технологий и подготовке изображений к печати.

Формат *GIF* был разработан для передачи растровой графики в глобальных сетях и ориентирован на хранение изображений в режиме индексированных цветов (не более 256). Поддерживает компрессию без потери информации (за счет приведения изображений к меньшему числу цветов). *GIF* способен содержать несколько кадров изображения в одном файле с их последующей последовательной демонстрацией, что позволяет создавать анимацию. *GIF*-анимация в силу своей простоты в настоящее время наиболее распространена в интернете. В геоинформационных системах данный формат используется для передачи картографических изображений по каналам связи, поскольку является одним из самых «плотных» не допускающих потерь информации, а также для создания картографических анимаций.

Формат *JPEG* реализует принцип сжатия изображений с потерями информации. Он основан на удалении из изображения той части информации, которая слабо воспринимается человеческим глазом. Степень сжатия, а следовательно и количество удаляемой информации, регулируются пользователем. Задача пользователя при сохранении изображения в данном формате заключается в подборе максимальной степени сжатия при минимальной потере информации. *JPEG* поддерживает полутоновые и полноцветные изображения в моделях *RGB* и *СМУК*, анимация и прозрачный фон не поддерживаются. Данный формат широко используется при сохранении изображений с цифровых камер, подготовки их к публикации в электронном виде в компьютерных сетях, базах данных ГИС, а также к выводу на печать.

Формат *TIFF* считается наиболее универсальным и позволяет хранить растровую графику в любом режиме: от битового представления и индексированных цветов до полноцветных изображений. В настоящее время *TIFF* является основным форматом, используемым для хранения сканированных изображений и размещения их в издательских системах и программах иллюстрирования. *TIFF* поддерживает битовые, индексированные, полутоновые и полноцветные изо-

бражения в моделях *RGB* и *СМУК* с 8-ю и 16-битными каналами. Большим достоинством формата остается поддержка практически любого алгоритма сжатия. Наиболее распространенным является сжатие без потерь информации по алгоритму *LZW*, обеспечивающему очень высокую степень компрессии.

При использовании стандартных форматов растровой графики информация о координатной привязке хранится во внешних файлах привязки: файле заголовка, имеющем расширение *.hdr*, или так называемом «мировом файле», расширение которого зависит от формата исходного файла изображения (например, *.tfw* – для файлов формата *TIFF*). Файл привязки представляет собой текстовый файл с именем, идентичным имени файла исходного изображения, содержащий информацию о координатах центра верхнего левого пикселя изображения, необходимые для корректного представления изображения в заданной системе координат. При этом файл заголовка позволяет хранить расширенные данные не только о координатах и картографической проекции, но и о слоях изображения, наименованиях тематических классов и др. Формируется он, как правило, при обработке изображения в специализированных программах работы с данными дистанционного зондирования. «Мировой файл» содержит сведения о размерах пикселя изображения в установленных для системы координат единицах, значения углов поворота изображения (при необходимости), а также координаты центра верхнего левого пикселя.

Специализированные ГИС-форматы растровой графики, в отличие от стандартных, позволяют хранить информацию о координатной привязке непосредственно в структуре самого файла.

Специализированный формат растровой графики *GeoTIFF* имеет дополнительные возможности по включению информации о географической привязке в файлы *TIFF*. Непосредственно в структуру файла могут включаться сведения о картографической проекции, системе географических координат, модели геоида и датуме. Формат является универсальным и поддерживается всеми ГИС и системами обработки данных дистанционного зондирования, что обусловило его использование как обменного формата при преобразовании данных из одной системы обработки в другую.

Формат *ECW* оптимизирован для хранения цифровых данных аэрофотосъемки и космической съемки и использует алгоритм сжатия с потерями информации. Формат эффективно сжимает сверхбольшие изображения с хорошим контрастом, а также позволяет хранить сведения о координатной привязке непосредственно в самом файле.

Для хранения и обработки растровых данных компания *ESRI* разработала формат *GRID*. Если в классической растровой графике атомарной

единицей данных служит пиксель, то в формате *GRID* – регулярная пространственная ячейка. В этой связи некоторые исследователи выделяют этот формат в отдельную модель данных – регулярно-ячеистую [3]. *GRID* представляет каждый канал растрового изображения отдельным картографическим слоем с определением спектральной яркости каждой ячейки (от 0 до 255). Таким образом, сколько каналов имеет исходное растровое изображение, столько картографических слоев будет иметь *GRID*. Геоинформационные системы включают программные функции, позволяющие выполнять преобразование растровых изображений исходных форматов в формат *GRID*. Основным преимуществом использования этого формата растровых данных является возможность подключения атрибутивных баз данных и расширенные возможности проведения пространственного геоинформационного анализа.

GRID является одним из первых форматов представления растровых данных, и многие ГИС первых поколений, созданные в 60 – 70-е годы XX века его использовали, что объясняется, главным образом, отсутствием или недоступностью средств векторизации картографических материалов.

В целом, к достоинствам растровой модели данных относят простоту их получения (аэрофо- и космическая съемка, сканирование планово-картографических материалов), фотореалистичность, а также возможность представления непрерывно распределенных признаков (рельеф, климатические характеристики, почвы и др.). Основными недостатками растровой структуры данных являются низкая точность представления границ картографических объектов и как следствие – измерений, ограниченные возможности объединения данных в логические структуры и пространственного геоинформационного анализа, значительные объемы данных, что затрудняет их обработку, передачу по каналам связи и представление в сети интернет.

Векторная модель данных. Под векторными данными понимается описание пространственных объектов, основанное на их координатах. Элементарными элементами векторного представления пространства являются точка, линия и полигон.

Точка (точечный объект) – объект, представленный одной парой координат (X , Y) и не имеющий размеров. На цифровой карте в ГИС невозможно определить какие-либо параметры точечного объекта (длину, ширину, площадь). На векторных цифровых картах точечные объекты могут представляться в виде специальных значков, показывающих условные знаки цифровой карты (туристические стоянки, дома отдыха, места обитания животных и произрастания растений и др.). Перечень таких значков и их количество регламентируется используемым программным обеспечением ГИС. Точечным объектом на

цифровой векторной карте может быть фонарь, столб, туристическая стоянка, дом отдыха и другие объекты, размеры которых не выражаются в данном масштабе или не существенны.

Линия (линейный объект) – объект, представленный набором пар координат и имеющий одну размерность – длину. Ширина объекта не выражается в данном масштабе или не существенна. Таким образом, на цифровой карте в ГИС можно измерить длину линии, но нельзя определить ее ширину и площадь. При настройке изображения линий на цифровой карте можно задать ширину отображения, а также тип (сплошная, пунктирная и др.). В качестве линейных объектов на цифровых векторных картах представляются дороги, ручьи и каналы, квартальные лесные просеки, административные границы и др.

Полигон (полигональный, площадной объект) – объект, представленный набором пар координат (или набором объектов типа линия), представляющий собой замкнутый контур. Для полигональных объектов на цифровой карте с использованием программных функций ГИС могут определяться площадь, длина периметра, центр масс. При настройке графического отображения полигональных объектов на цифровой карте для них могут устанавливаться цвет или тип заливки (штриховка, заливка в виде различных текстур), а также цвет и толщина контура. Площадными объектами могут быть представлены земельные участки, таксационные выделы, водоемы и др. Точечные, линейные и полигональные объекты также еще называют типами объектов векторной графики (рис. 2.13).

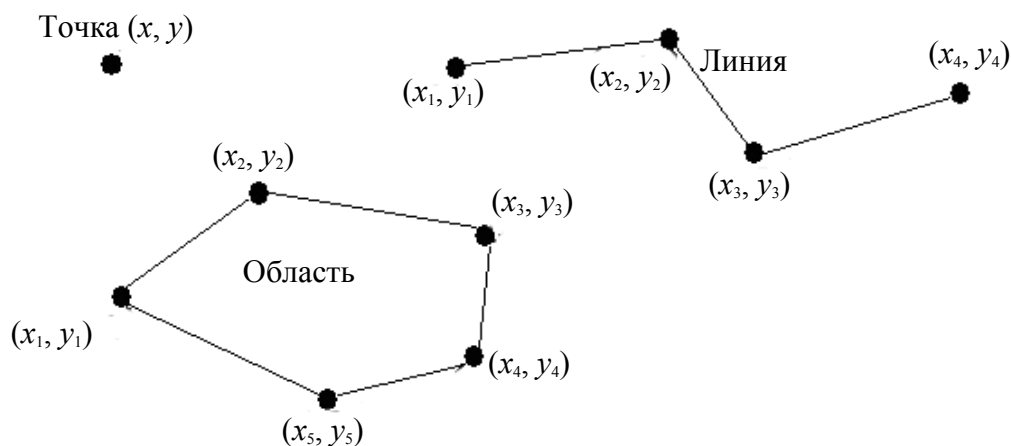


Рис. 2.13. Представление объектов векторной графики

Более сложные линии состоят из некоторого числа отрезков, каждый из которых начинается и заканчивается парой координат. Для кривых линий используется приближенное изображение с помощью большого числа коротких прямых отрезков. Чем короче отрезки, тем

более точно они представляют сложную линию. Таким образом, несмотря на то что векторные структуры данных лучше представляют положения объектов в пространстве, они не абсолютно точны: являются приближенным изображением географического пространства.

Площадные объекты представляются в векторной структуре данных аналогично линейным. Соединением отрезков линии в замкнутый контур, в котором первая пара координат первого отрезка является одновременно и последней парой координат последнего отрезка, создается полигон.

К векторным картографическим объектам независимо от их типа подключается файл, содержащий их атрибутивные характеристики.

Обобщенная модель векторных данных включает два их типа: векторную топологическую и векторную нетопологическую модели.

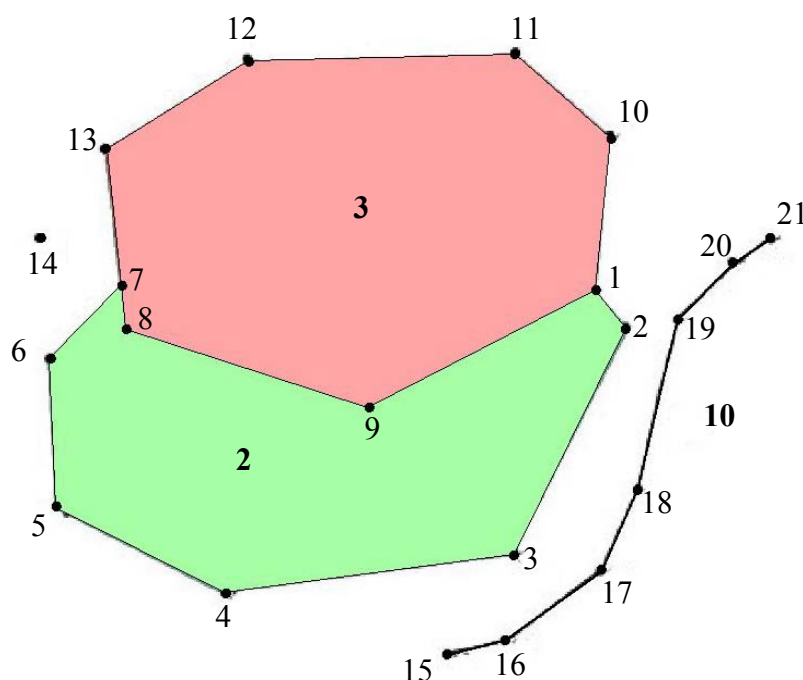
Векторная нетопологическая модель данных (спагетти-модель) – разновидность векторной модели данных для представления точечных, линейных и полигональных пространственных объектов с описанием их геометрии (но не топологии) в виде неупорядоченного набора дуг или совокупности сегментов.

Спагетти-модель является простейшей структурой векторных данных, которая полностью копирует картографические объекты бумажной карты (переводит их в векторный вид «один к одному»). Данная модель основана на представлении каждого графического объекта бумажной карты цепочкой векторных линий (одним или несколькими кусочками макарон). Каждая линия действует как один графический примитив: отрезки – для прямых линий, наборы отрезков – для отображения криволинейных контуров и полигональных объектов. Каждый графический примитив представляет собой логическую запись в компьютере в виде строк переменной длины пар координат (X , Y).

В векторной нетопологической модели соседние полигоны имеют разные цепочки линий для общих сторон, т. е. не существует полигонов, для которых какая-либо цепочка линий была бы общей. Каждая сторона полигона имеет свой уникальный набор линий и пар координат, и общие стороны полигонов должны иметь одинаковые наборы координат. Из рис. 2.14 следует, что координаты точек 1, 7, 8, 9 сохранены в файле векторного формата дважды: как для полигона 2, так и для полигона 3. Такой подход не является эффективным с точки зрения избыточности хранения информации.

Поскольку векторная нетопологическая модель выглядит как полная аналогия бумажной карты, пространственные отношения между объектами (топология), например, такие, как положение смежных областей, не записываются в явном виде. Все отношения между объектами должны вычисляться независимо. Результатом отсутствия та-

кого явного описания являются ограниченные возможности геоинформационного анализа данных и дополнительные вычислительные нагрузки на компьютер.



a

Объект	Номер	Координаты
Точка	14	X, Y
Линия	10	$(X_{15}, Y_{15}), (X_{16}, Y_{16}), (X_{17}, Y_{17}), (X_{18}, Y_{18}), (X_{19}, Y_{19}), (X_{20}, Y_{20}), (X_{21}, Y_{21})$
Полигон	2	$(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), (X_3, Y_3), (X_4, Y_4), (X_5, Y_5), (X_6, Y_6), (X_7, Y_7), (X_8, Y_8), (X_9, Y_9)$
Полигон	3	$(X_1, Y_1), (X_7, Y_7), (X_8, Y_8), (X_9, Y_9), (X_{10}, Y_{10}), (X_{11}, Y_{11}), (X_{12}, Y_{12}), (X_{13}, Y_{13})$

б

Рис. 2.14. Векторная нетопологическая модель данных:
a – представление пространственных объектов; *б* – хранение данных по местоположению пространственных объектов

Однако поскольку спагетти-модель очень сильно напоминает бумажную карту, она является эффективным методом картографического отображения и часто используется в компьютеризированной картографии, где анализ данных не является главной целью.

В отличие от спагетти-модели, топологическая модель векторных данных содержит топологическую информацию в явном виде.

Топология – это набор правил, устанавливающих пространственные отношения между объектами в ГИС. Она делает возможным проведение расширенного пространственного анализа и играет фун-

даментальную роль в обеспечении качества пространственных данных ГИС. С понятием векторной топологической модели тесно связан перечень терминов: сегмент, дуга, узел, промежуточная точка.

Сегмент (линейный сегмент, отрезок) – отрезок прямой линии, соединяющий две точки с известными координатами (промежуточные точки или узлы).

Дуга – последовательность сегментов, имеющих начало и конец в узлах.

Узел – точка, являющаяся началом или концом дуги. Узлы, образованные пересечением только двух дуг или замыканием одной дуги на себя называют псевдоузлами. Узлы, образованные пересечением трех и более дуг, называют нормальными, а узлы, принадлежащие только одной дуге – висячими.

Промежуточная точка – точка, в которой сегмент меняет свое направление.

Полигональные объекты также дифференцируются: простой полигон, внутренний полигон, составной полигон.

Вышеперечисленные элементы векторной топологической модели пространственных данных представлены на рис. 2.15.

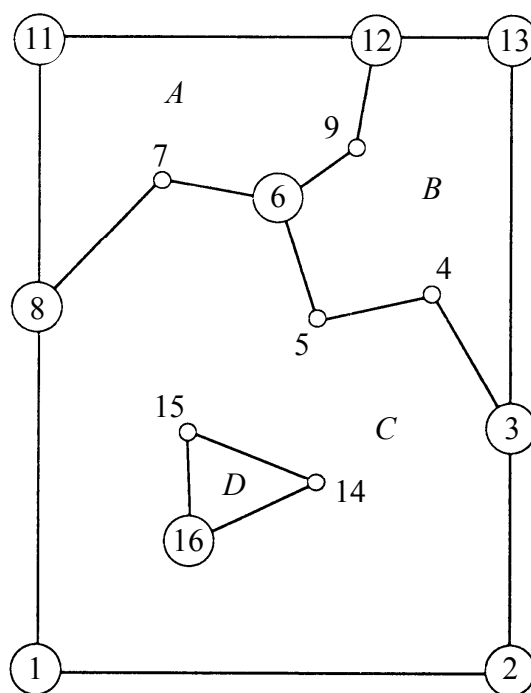


Рис. 2.15. Элементы векторного топологического представления пространственных данных [3]: 3, 6, 8, 12 – нормальные узлы; 1, 2, 13, 11, 16 – псевдоузлы; 4, 5, 7, 9, 14, 15 – промежуточные точки; A, B – простые полигоны, C – составной полигон; D – внутренний полигон

Представление пространственных данных в векторной топологической модели данных имеет три правила: дуги соединяются между собой в узлах (связность); дуги, ограничивающие фигуру, определяют полигон (определение фигуры); дуги имеют направление, а также левую и правую стороны (непрерывность).

Выделяют три группы топологических отношений: необъектные топологические отношения; объектные топологические отношения; концептуальные топологические отношения.

Необъектные топологические отношения определяют правила взаимного расположения узлов, сегментов и дуг при представлении векторных пространственных объектов. Данную группу топологических отношений называют линейно-узловым векторно-топологическим представлением данных.

Объектные топологические отношения включают группу внутри-объектных (связность дуг и замкнутость полигонов), а также межобъектных отношений (узловые топологические отношения, отношения в пределах одного картографического слоя и между объектами разных слоев, топологические межобъектные ресурсные связи).

Концептуальные топологические отношения определяют отношения между классами объектов в ГИС.

При линейно-узловом векторно-топологическом представлении данных каждая дуга имеет два набора чисел: пары координат промежуточных точек и номера узлов. Кроме того, каждая дуга имеет свой идентификационный номер, который используется для указания того, какие узлы представляют ее начало и конец. Области, ограниченные дугами, также имеют идентифицирующие их коды, которые используются для определения их отношений с дугами. Далее, каждая дуга содержит явную информацию о номерах областей слева и справа от нее, что позволяет находить смежные области (рис. 2.16). Эта особенность топологической модели позволяет геоинформационной системе знать действительные отношения между графическими объектами.

Таким образом, топологическая модель векторных данных отражает пространственные связи между картографическими объектами.

Важным достоинством векторной модели данных является точное указание границ пространственных объектов, возможность применения векторных карт в любых масштабах, а также расширенные функции пространственного анализа (для векторной топологической модели).

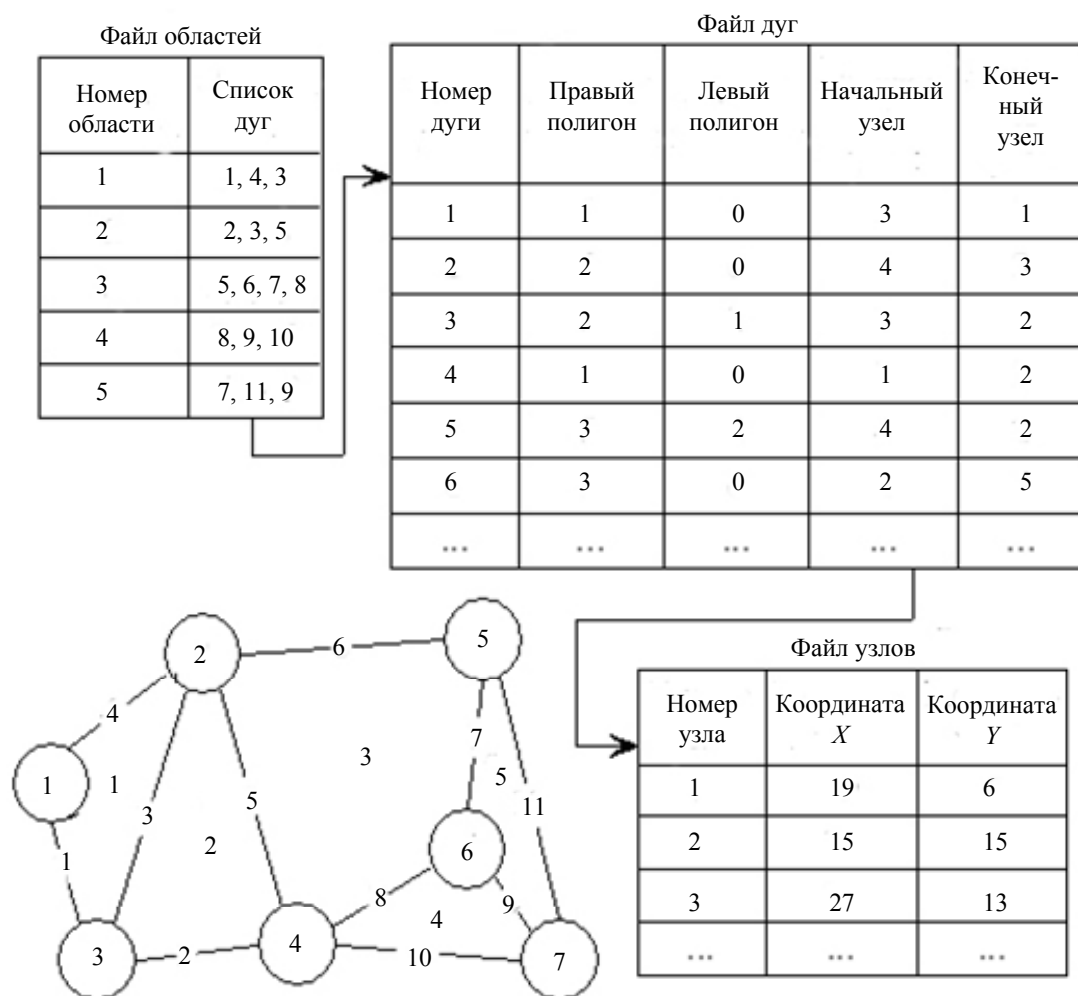


Рис. 2.16. Топологическая векторная модель данных [1]

Основным недостатком векторной модели данных следует признать значительную трудоемкость ее получения.

Векторизация – автоматическое или автоматизированное создание векторной модели по растру или аналоговой бумажной карте.

При этом автоматическая векторизация выполняется, как правило, при переводе в векторную форму результатов тематической классификации данных дистанционного зондирования. В остальных случаях использование этой технологии дает значительные ошибки. Поэтому в настоящее время создание векторных пространственных объектов осуществляется путем ручной рисовки их по растру или бумажной карте (с использованием дигитайзера) на основе использования специальных компьютерных программ – векторизаторов.

Обратный процесс преобразования векторной модели данных в растровую называют растеризацией. Растеризация векторной кар-

ты выполняется в автоматическом режиме, практически во всех современных ГИС-пакетах.

Геоинформационные системы используют специальные форматы векторных данных, позволяющие хранить не только координаты векторных объектов, но и их атрибутику. При этом форматы векторных файлов привязаны к конкретному программному обеспечению ГИС, которое позволяет с ними работать наиболее оптимальным образом. Вместе с тем большинство ГИС содержат программные функции конвертации форматов векторных данных. Среди наиболее распространенных форматов векторных данных ГИС следует отметить *DXF*, *MIF/MID*, *SHP*.

DXF – это открытый формат файла компании *Autodesk Inc*, предназначенный для обмена данными с системами автоматизированного проектирования (САПР). Он является весьма популярным для обмена данными, предусмотрен в большинстве программных средств ГИС. *DXF* поддерживает векторную нетопологическую модель данных, позволяет передавать фиксированное число атрибутов вместе с элементами векторного изображения.

MIF/MID является внутренним обменным форматом векторных данных геоинформационной системы *MapInfo*. При этом графическая информация содержится в файле с расширением *.MIF*, а атрибутивные данные – в файле с расширением *.MID*.

SHP (шейп-файл) – это простой, нетопологический формат для хранения геометрического местоположения и атрибутивной информации пространственных объектов. Данный формат является внутренним для геоинформационных систем *ArcView GIS* и *ArcGIS*, оптимизирован для работы с другими программными продуктами *ESRI* и по праву считается одним из самых распространенных форматов векторных данных ГИС в мире. Физически, шейп-файл состоит, как минимум, из трех файлов – с расширением *.shp*, *.shx* и *.dbf*. Например, для представления картографического слоя «Туристические объекты» в формате шейп-файла в рабочей области на жестком диске компьютера должно находиться три файла: «Туристические объекты. *shp*», «Туристические объекты. *shx*», «Туристические объекты. *dbf*». При отсутствии хотя бы одного из перечисленных файлов загрузка картографического слоя в ГИС невозможна.

Файл с расширением *.shp* содержит пространственные данные в двоичном коде, файл с расширением *.dbf* – атрибутивные данные в таблице в формате *dBASE*. Файл с расширением *.shx* представляет собой пространственный индекс, в котором в сжатом виде описана

структура файла *shp*. Таким образом, файл с расширением *.shx* является ключом к пространственным данным, благодаря которому осуществляется быстрое чтение шейп-файла, а следовательно, все операции поиска и выборочного отображения объектов.

Шейп-файл также может включать четыре дополнительных файла с индексной информацией. Так, файлы с расширениями *.sbn* и *.sbx* образуются, когда выполняется обращение к шейп-файлу с пространственным запросом. Два атрибутивных индексных файла (*ain* и *aix*) создаются операцией реляционного связывания таблиц. Эти файлы позволяют быстрее осуществлять поиск атрибутов.

Файл с расширением *.prj* содержит данные пространственной привязки и информацию о системе координат шейп-файла.

Все эти файлы записываются в каталог источника данных.

Модель нерегулярной триангуляционной сети (TIN). Для представления пространства в векторных моделях вся поверхность делится с учетом поверхностной информации: высотные отметки, величина уклона, направление уклона и др. С этой целью в геоинформационных системах эффективно используется модель нерегулярной триангуляционной сети [6].

Нерегулярная триангуляционная сеть (TIN – Triangulated Irregular Network) – это структура организации географических данных, описывающая трехмерную земную поверхность в виде связанных между собой общими вершинами и сторонами непересекающихся треугольников неправильной формы. Каждый треугольник сети определяется тремя координатами (x , y , z) его вершин [5, 6]. TIN-модель является специфической векторной топологической моделью данных и выступает как альтернатива для растровой модели при представлении непрерывных поверхностей.

Модель TIN представляет поверхность, как набор связанных треугольников, что отражено в ее названии «триангуляционная». Треугольники строятся из трех точек, принадлежащих к произвольным областям поверхности, что и подчеркивается прилагательным «нерегулярная» (рис. 2.17). Кроме того, модель TIN создает сеть треугольников, сохраняя топологические отношения между ними. Таким образом, основными компонентами TIN являются треугольники, узлы и грани.

Точки могут располагаться где угодно, и чем тщательней они отобраны на первоначальном этапе построения, тем точнее будет созданная модель поверхности.

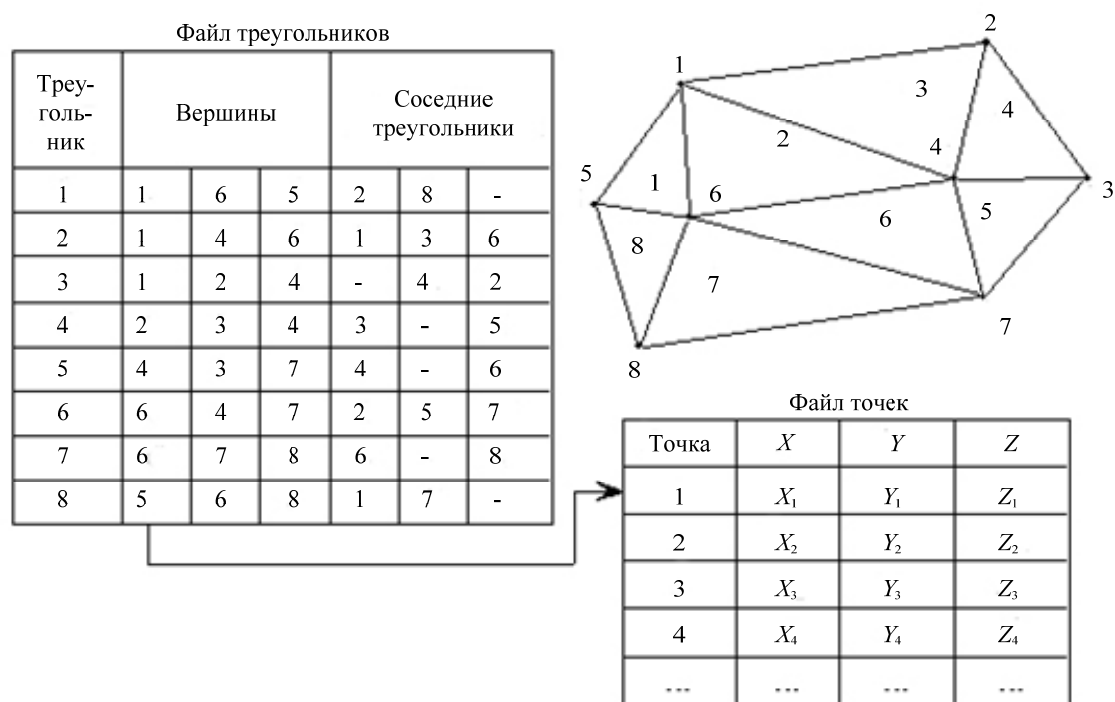


Рис. 2.17. Модель *TIN* – векторное представление поверхностей [1]

Считается, что точки размещены удачно, если они отражают существенные изменения формы поверхности, например, вершину холма, границы долины реки или кромку обрыва. Поскольку реальная поверхность содержит бесчисленное количество точек с координатами x, y, z , то для ее представления используется лишь ограниченный набор опорных точек.

2.3. Атрибутивные данные ГИС

ГИС представляется как совокупность методов и средств для управления и анализа пространственных и связанных с ними атрибутивных (тематических) данных и этим отличается от систем картирования и автоматизированного проектирования, а также других информационных систем [3, 4].

Атрибутивные данные (тематические данные, «атрибутика») – качественные или количественные (негеографические) данные, представленные в виде свойств или характеристик, относящихся к определенному пространственному объекту базы данных ГИС [5, 6].

Атрибутивные данные представляются в виде атрибутов объектов, таких как текстовые описания, числовые (метрические) характеристики, номера, названия, свойства и т. д. Область атрибутов объектов очень широкая. Это могут быть любые описательные и метрические свойства объекта.

Можно выделить два основных подхода к организации и использованию атрибутивных данных в ГИС:

- в атрибутивных таблицах картографических слоев;
- с использованием внешних баз данных, находящихся под управлением СУБД в рамках георегиональной модели ГИС.

В первом случае атрибутивные данные хранятся непосредственно в самом картографическом слое (например, в файле формата *dbf* шейп-файла). Данный подход используется при организации небольших по объему атрибутивных данных в рамках настольных ГИС. Использование внешних баз данных оправдано при организации работы с большим объемом атрибутивных данных.

Таблица атрибутов объектов – это особый тип файла данных, хранящий информацию о каждом пространственном объекте цифровой карты (точке, дуге или полигоне). Таблица включает заданный набор полей (столбцов) и записей (строк), количество которых равно числу пространственных объектов цифровой карты. Таким образом, одному объекту цифровой карты соответствует одна запись в атрибутивной таблице (рис. 2.18).

Одно поле атрибутивной таблицы представляет определенную характеристику объекта (площадь, вид земель, землепользователь и др.). В зависимости от содержания атрибутивных данных полю таблицы присваивается определенный тип. Перечень поддерживаемых типов полей зависит от используемого программного обеспечения ГИС и, как правило, меньше, чем в стандартных СУБД. Основными типами полей таблиц атрибутивных данных являются:

- числовое – поле, содержащее символы, составляющие допустимое целое или вещественное число;
- символьное – поле, которое может содержать любую комбинацию алфавитно-цифровых символов, знаков.
- логическое – поле, значения в котором – «Истина» (*True*) или «Ложь» (*False*);
- дата – поле, значения в котором содержат 8 цифр, обозначающие год, месяц и дату. Например, дата 12 мая 2013 года будет представлена как 20130512.

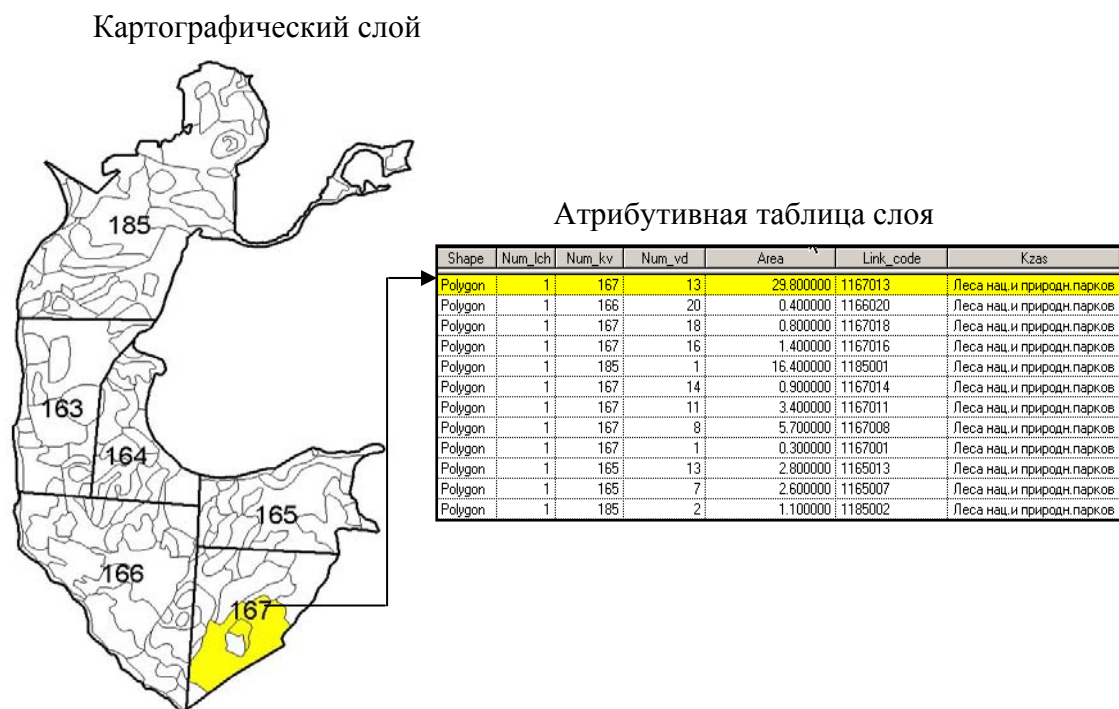


Рис. 2.18. Атрибутивная таблица картографического слоя

Основными типами полей, содержащих подавляющее большинство атрибутивных данных, являются числовой и символьный. Если, значения для некоторого атрибута содержат нецифровые символы, этот тип необходимо определить как символьный; если эти значения цифровые с десятичной точкой или без нее, то тип определяют как числовой. При этом любые цифровые значения также могут храниться и как символьные значения, но в этом случае с ними нельзя обращаться как с числами – т. е. производить с ними арифметические действия. Например, числовые значения 100 и 200 можно сложить и получить в сумме 300, тогда как сумма этих же значений, представленных в виде строк символов «100» и «200» даст символьное значение «100200». Кроме этого при организации запросов к числовым полям можно пользоваться математическими операторами «больше» («больше или равно»), «меньше» («меньше или равно»), «равно» и «неравно», в то время как при осуществлении запросов к символьным полям возможно применение только математических операторов «равно» и «неравно».

Размер атрибута объекта должен быть достаточным для самого длинного сохраняемого значения и составляет до 254 для символь-

ного типа и до 16 для числового типа, включая знак числа и десятичную точку.

Весьма важное значение имеет структура файлов для хранения «атрибутики», поскольку от нее зависит скорость доступа к данным. В процессе эволюции форматов данных ГИС было разработано три структуры: файлы с неупорядоченной структурой хранения данных, файлы с последовательно упорядоченной структурой данных, индексированные файлы. При этом файлы первых двух структур характерны для ранних версий ГИС-форматов, поскольку отличаются сравнительно низкой скоростью доступа к данным. Современные специализированные форматы данных ГИС главным образом построены на индексированных файлах данных.

Простейшей структурой файла базы данных является неупорядоченный массив записей [1, 4]. Если сравнить такой файл с картотекой (например, библиотеки), то карточки должны находиться в порядке поступления. Единственным преимуществом такой структуры файла является то, что для добавления новой записи, ее нужно просто поместить в конец файла, позади всех других записей. Поиск требуемой записи в такой структуре осуществляется простым перебором и весьма длителен.

В файлах с последовательно упорядоченной структурой данных используется сравнение каждой новой записи с имеющимися для определения ее места. Такие последовательно упорядоченные файлы могут использовать буквы алфавита или числа. Обычной стратегией поиска здесь является так называемый поиск делением пополам (дихотомия). Поиск начинается разделением всего массива записей на две половины и выборкой записи в середине. Если она оказывается той, что нужна, то поиск закончен. Если искомая запись находится выше выбранной, то процедура повторяется с первой половиной, если после – со второй. Таким образом, программе не требуется просматривать большую часть файла, что увеличивает скорость поиска более чем в 10 раз. Однако теперь каждая новая запись должна вставляться в соответствующее место упорядоченной последовательности.

Каждому объекту может быть приписано большое количество атрибутов, но при использовании файлов с последовательно упорядоченной структурой система не может отсортировать записи в файле одновременно более чем одним способом. И если для того атрибута, по которому отсортирован массив записей, можно применить быстрый поиск делением пополам, то для всех других придется выполнять последовательный поиск. Для решения данной задачи разработаны

индексированные файлы, которые при организации поиска используют внешний индекс (рис. 2.19).

Строится он следующим образом: из исходного файла в новый копируются значения одного атрибута для всех записей и адреса записи в исходном файле, из которого это значение было взято. Затем записи нового файла упорядочиваются в соответствии со значениями атрибута. Теперь, чтобы найти запись с заданным значением атрибута, можно использовать поиск делением пополам. Найдя нужные записи в индексном файле, система получит адреса записей исходного файла с искомыми атрибутами объектов. Таким образом, для поиска в основном файле используется дополнительный индексный файл, который называется внешним индексом, а исходный файл становится индексированным. В индексный файл можно выносить несколько атрибутов.

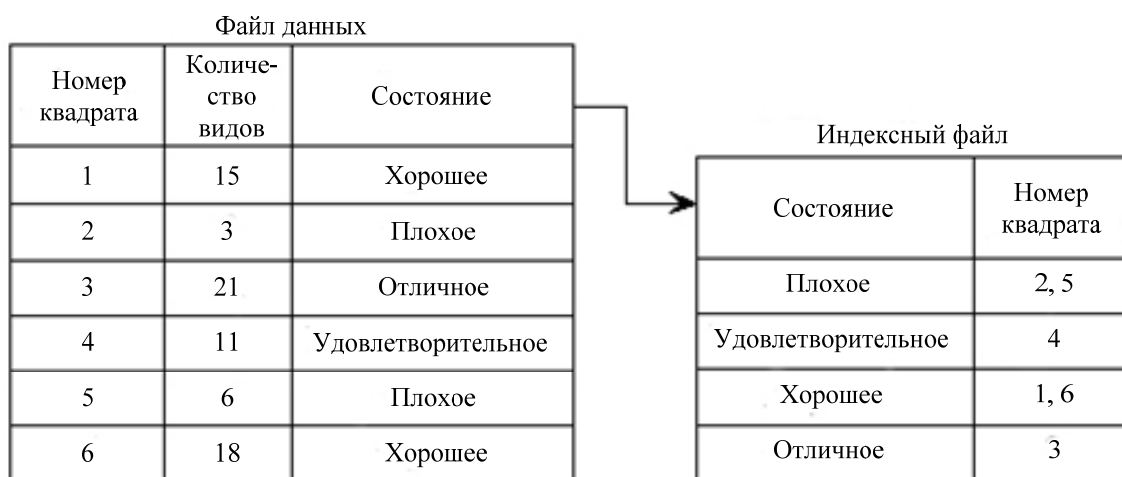


Рис. 2.19. Индексированный файл. Индекс составлен по ключу «Состояние»

Использование внешнего индекса имеет три условия. Во-первых, нужно знать заранее критерии, по которым будет производиться поиск, так как для каждого критерия строится свой индексный файл. Во-вторых, ссылки на все добавления в исходный файл должны помещаться в соответствующие места индексных файлов, чтобы не нарушать их упорядоченность. В-третьих, если по какой-либо причине не предусмотрен некоторый критерий поиска, то придется использовать последовательный перебор для получения нужной информации.

Организованный набор взаимосвязанных файлов данных называется базой данных (БД). Сложность работы со множественными фай-

лами в базе данных требует более совершенного управления, реализуемого системой управления базой данных (СУБД). Существует три основных типа структур баз данных: иерархическая (древовидная), сетевая и реляционная (табличная) [1, 4]. Однако в последнее время, особенно в разработках фирмы ESRI, большое внимание стало уделяться четвертому типу баз данных – объектно-ориентированному.

Иерархическая модель данных строится по принципу иерархии типов объектов, то есть один тип объекта является главным, а остальные, находящиеся на низших уровнях иерархии, – подчиненными. Такая система хорошо иллюстрируется иерархической системой классификации растений и животных, называемой таксономией. Ветвление от предков к потомкам осуществляется на основе ключевых атрибутов (рис. 2.20).

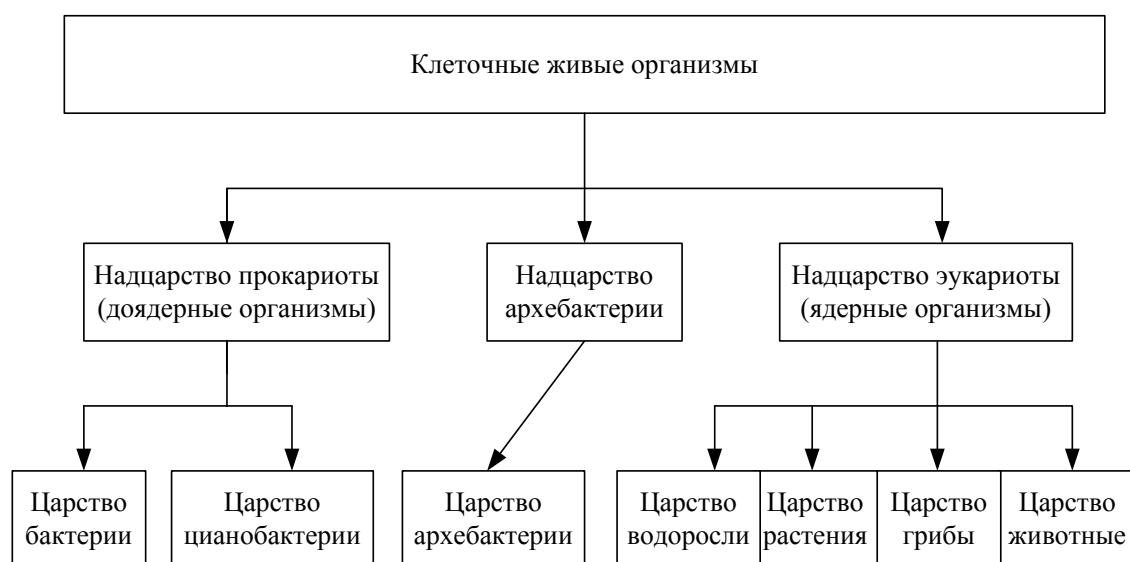


Рис. 2.20. Иерархическая структура БД на примере таксономической классификации [2]

Между главным и подчиненными объектами устанавливается взаимосвязь «один ко многим». Иными словами, для данного главного типа объекта существует несколько подчиненных типов объекта. В то же время для каждого подчиненного экземпляра главного объекта может быть несколько экземпляров подчиненных типов объектов. Таким образом, взаимосвязи между объектами напоминают взаимосвязи в генеалогическом дереве: для каждого порожденного (подчиненного) типа объекта может быть только один исходный (главный) тип объекта. Узлы и ветви образуют иерархию.

скую древовидную структуру. Узел является совокупностью атрибутов, описывающих объект. Наивысший в иерархии узел называется корневым – это главный тип объекта, находящийся на первом уровне. Зависимые узлы (подчиненные типы объектов) находятся на втором, третьем и т. д. уровнях.

Главным преимуществом иерархической структуры является то, что в ней очень легко искать данные, поскольку она хорошо структурирована и может относительно легко расширяться добавлением новых ветвей и формулированием новых правил ветвления. Однако если изначальное описание структуры неполно или нужно выполнить поиск по новому критерию, который не включен в структуру, то поиск становится невозможным. Для создания иерархической структуры необходимо знание всех возможных запросов, которые могут быть заданы, поскольку они используются как основа для разработки правил ветвления или ключей.

Возможности быстрого поиска, выполняемого в иерархической структуре данных, определяются структурой самого дерева. Атрибутивные и геометрические данные могут храниться в разных местах, что требует установления большого числа связей между графической и атрибутивной частями БД. В таком случае потенциальное число ветвлений и связанных с ними ключей иерархической структуры может стать очень большим. Иерархическая структура данных больше всего подходит, когда между элементами данных требуется устанавливать связи «один к одному» или «один ко многим».

Сетевые БД ГИС используют отношение «многие ко многим», при котором один элемент может иметь многие атрибуты и каждый атрибут связан явно со многими элементами. Например, исследуемый участок леса может иметь много квадратов, с каждым из которых могут быть связаны несколько животных и растительных видов, при том что каждый вид может присутствовать в более чем одном квадрате. Для реализации таких отношений вместе с каждым элементом данных может быть связана специальная переменная, называемая указателем (pointer), которая направляет ко всем другим элементам данных, связанным с этим элементом. В этом случае каждый отдельный элемент данных прямо связан с другими элементами базы данных (рис. 2.21). Стрелки указывают, на каких площадках какие виды были учтены. Указатели обеспечивают и обратную связь от видов к площадкам, на которых они находятся.

Сетевые структуры обычно рассматриваются как усовершенствование иерархических, поскольку они менее жесткие и могут представлять отношение «многие ко многим». Поэтому они допускают гораздо

большую гибкость поиска, нежели иерархические структуры. Эти структуры позволяют пользователю перемещаться от одного элемента данных к другому через цепочку указателей, которые выражают взаимоотношения между элементами данных. Также в отличие от иерархических структур они уменьшают избыточность данных [1, 4].

Их главным недостатком является то, что в крупных БД ГИС количество указателей может стать очень большим, требуя значительных затрат памяти. Наконец, хотя связи между элементами данных более гибкие, они все же должны быть явно определены с помощью указателей. Многочисленные возможные связи могут превратиться в весьма запутанную сеть, приводя к потерянным и ошибочным связям, что требует достаточно высокой квалификации персонала при работе с такими системами.

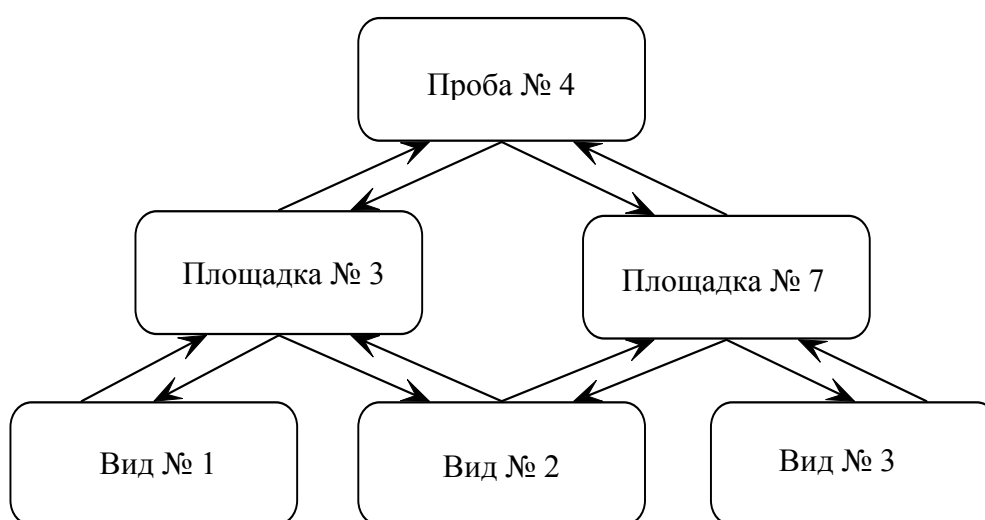


Рис. 2.21. Сетевая структура БД

Большая часть геопространственных цифровых данных в мире в настоящее время хранится с использованием реляционных моделей данных. В БД реляционного типа данные хранятся как наборы таблиц (называемые отношениями), которые логически связаны друг с другом с помощью общих атрибутов. Каждая колонка таблицы содержит значения одного атрибута для всего набора объектов, например, может быть колонка с номерами квадратов (один атрибут). В другой колонке может быть дополнительная информация, относящаяся к сборщику данных, в третьей – дата сбора данных, в четвертой – номер площадки (рис. 2.22). Атрибуты объектов могут также объединяться в другие связанные таблицы.

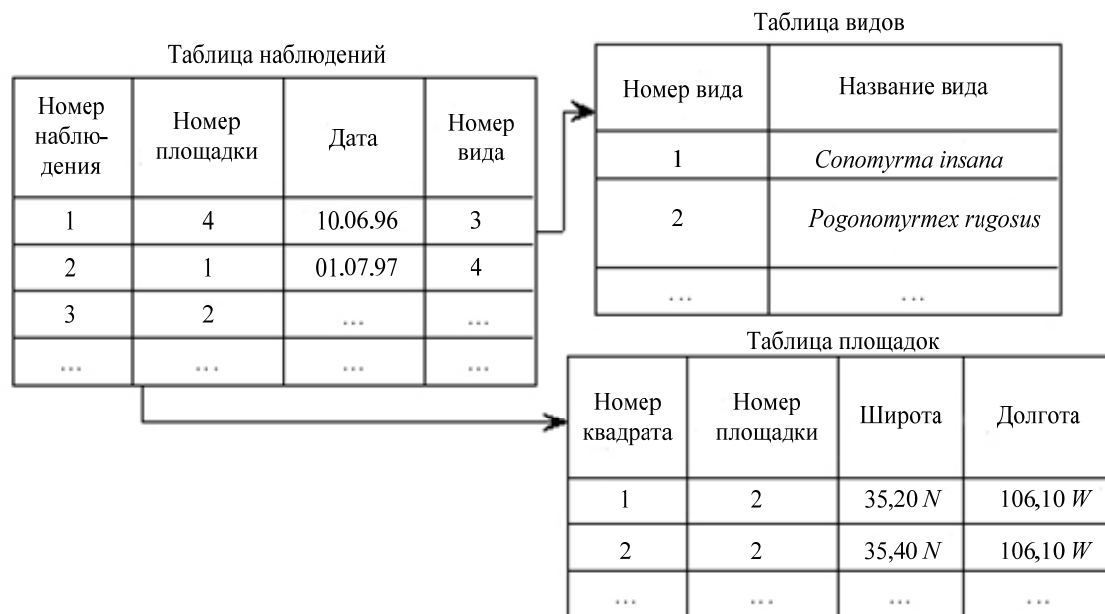


Рис. 2.22. Реляционная структура БД

Реляционные системы основаны на наборе математических принципов, называемых реляционной алгеброй или алгеброй отношений, устанавливающей правила проектирования и функционирования таких систем (Ullman, 1982). Реляционная алгебра базируется на теории множеств, каждая таблица отношений функционирует как множество, и первое правило гласит, что таблица не может иметь строку, которая полностью совпадает с какой-либо другой строкой. Поскольку каждая из строк уникальна, одна или несколько колонок могут использоваться для определения критерия поиска. Такой критерий поиска называется первичным ключом (*primary key*) для поиска значений в других колонках БД (Date, 1986). Всякая строка таблицы должна иметь уникальное значение в колонке первичного ключа, в противном случае система не сможет однозначно идентифицировать объекты.

Реляционные системы ценны тем, что позволяют собирать данные в достаточно простые таблицы, при этом задачи организации данных также просты. При необходимости можно стыковать строки из одной таблицы с соответствующими строками из другой, используя связующий механизм, называемый реляционным соединением (*relational join*). Поскольку реляционные системы преобладают в ГИС и для ГИС созданы довольно большие БД, данная структура широко распространена. Соединение происходит по равенству значений колонки первичного ключа одной таблицы с колонкой второй таблицы. Колонка

второй таблицы, с которой связан первичный ключ, называется внешним ключом (*foreign key*). Значения связанных строк должны находиться в тех же позициях для гарантии соответствия. Эта связь означает, что все колонки второй таблицы привязаны к колонкам первой. Благодаря этому каждая таблица может быть более простой, облегчая управление данными. Также сюда может быть подключена третья таблица, если взять колонку второй таблицы, которая будет использоваться как первичный ключ к соответствующей ключевой колонке (теперь называемой внешним ключом) третьей таблицы. Процесс может продолжаться присоединением все новых простых таблиц для проведения довольно сложного поиска, причем набор таблиц остается очень простым и легко поддерживаемым. Этот подход устраняет путаницу, присущую разработке БД с использованием сетевых систем.

Чтобы установить реляционные соединения, каждая таблица должна иметь хотя бы одну общую колонку с другой таблицей, с которой нужно установить такое соединение. Эта избыточность информации и обеспечивает реляционное соединение.

В объектно-ориентированной структуре БД пространственные данные представляют собой совокупность элементов. При этом эти элементы характеризуются серией атрибутов и параметров поведения, которые определяют их пространственные, графические, временные, текстовые (численные) размерности. Примерами таких элементов могут служить: участок железной дороги и связанное с ним здание вокзала; перекресток автодорог с ответвлениями из дорог разной ширины и др. Данная структура позволяет унифицировать хранение геометрии и атрибутов при отображении взаимосвязанных объектов.

Таким образом, в объектно-ориентированной модели данных любая сущность реального мира, (участки лесных массивов, здания, реки) являются объектами. Их атрибуты также являются объектами этой структуры. Объекты характеризуются свойствами, определяющими их состояние, и методами, определяющими их поведение. Объекты взаимодействуют друг с другом путем передачи сообщений, активизирующих их линии поведения.

Линии поведения – это методы, или операции, которые объект может реализовать. Например, улица может «знать», как рассчитать увеличение времени, необходимое для проезда по ней при приближении часов пик, или код налогообложения может рассчитать процент налога на землю, если изменился статус земельного участка или его владелец. Эти линии поведения также могут использоваться для на-

правления сообщений другим объектам, информирования о состоянии объекта с помощью отчета о характеризующих его текущих значениях, сохранения новых значений или выполнения расчетов.

Объекты связываются друг с другом с помощью сообщений. Сообщения – это действие одного объекта, запускающее определенное поведение другого объекта. Объекты также могут объединяться в классы. Класс – это способ группирования объектов, имеющих одинаковые наборы атрибутов и линии поведения, в шаблон. Объекты определенного класса называются экземплярами этого класса. Например, земельный участок, на котором расположен университет, в котором вы учитесь, – всего лишь один из многих участков, существующих в городе, и каждый из них уникален. Но все эти участки также имеют некоторые общие характеристики, такие как тип зданий или код зонирования, и эти общие характеристики выражаются как классы. Классы могут быть вложенными до любого уровня, и наследование автоматически выстроится через все уровни. Например, лес, водные объекты, луг могут быть объединены в один класс «общественные парки» и наследовать такой атрибут, как «тип землепользования» (зона отдыха) или «вид собственности» (государственная). Отношения описывают то, как объекты ассоциированы друг с другом. Они определяют правила создания, изменения и удаления объектов.

С 1980-х годов большинство баз данных ГИС строились на основе реляционной модели данных. Но, учитывая трудности, связанные с поддержкой этой моделью сложных линий поведения объектов реального мира, некоторые поставщики программного обеспечения ГИС использовали объектно-ориентированную и объектно-реляционную модели для поддержки этих более сложных моделей данных. Технология *ArcGIS*, разработанная *ESRI*, – это широко известный пример реляционной модели, расширенной до возможности включения (при необходимости) объектно-ориентированного поведения в модель данных, которая называется моделью базы геоданных. У базы геоданных есть ряд элементов, которые используют преимущества концепции объектно-реляционной модели: области атрибутов, правила связности сети и правила отношений.

Как правило, ГИС создаются на основе уже существующих систем управления базами данных. При этом выделяют два пути использования СУБД в ГИС:

– выполнение ГИС-процедур полностью через СУБД, тогда доступ ко всем данным осуществляется только через СУБД и все

данные должны удовлетворять требованиям, заложенным при ее разработке;

– часть данных (как правило, таблицы атрибутов и их отношений) находятся под управлением СУБД, а другая часть данных (как правило, пространственные) хранится как некоторая файловая структура на жестком диске компьютера и управляется непосредственно ГИС.

В преобладающем большинстве ГИС используются реляционные базы данных. При этом задача управления пространственными данными включает две составляющие: управление пространственными объектами и управление атрибутивными данными. В векторной модели данных геометрию пространственных объектов хранят в одном файле в виде индексированных записей (индекс кодирует объект, а запись состоит из набора пар или троек координат, число которых соответствует типу и конфигурации объекта), а значения атрибутов упорядочивают в виде таблиц. Такие организации данных называют геореляционными. Основным преимуществом такой организации данных является добавление функций СУБД к ГИС при управлении атрибутивными данными.

3. ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ В ГИС

3.1. Сущность и назначение пространственного анализа данных в ГИС

Несмотря на то, что хранящиеся в ГИС данные представляют основную ценность, они приносят реальную пользу только при их использовании для решения прикладных задач. Каждая ГИС наряду с модулями для ввода и вывода данных обязательно имеет средства, предназначенные для выполнения общих функций пространственного анализа и решения специализированных задач пользователя. Эти средства зависят от моделей данных, поддерживаемых ГИС и используемых для решения задач пользователя. В результате конкурентной борьбы между коммерческими ГИС к настоящему времени сложился перечень функций, наличие которых практически обязательно для таких систем. Это, прежде всего, функции: организации выбора объектов по запросу, редактирования структуры и информации в базах данных, картографической визуализации, картометрические, построения буферных зон, анализа наложений, сетевого анализа и др.

Таким образом, *пространственный анализ (геоанализ) – группа функций программного обеспечения ГИС, обеспечивающих анализ размещения, связей и иных пространственных отношений пространственных объектов.*

Пространственный анализ чаще всего проводится в целях выявления следующих отношений:

- закономерностей в структуре или особенностей распределения объектов, а также их характеристик в пространстве;
- наличия и вида взаимосвязей в пространственном распределении нескольких классов объектов или отдельных характеристик;
- тенденций развития явлений в пространстве и во времени.
- выбор решения с учетом пространственных характеристик (разработка туристического маршрута с учетом всех достопримечательностей объекта).

Функции пространственного анализа определяются моделью и составом пространственных данных, наличием атрибутивной информации и ее структурой, используемой системой координат, а так-

же конкретным видом программного обеспечения ГИС. При этом результатом анализа могут быть тематические карты, схемы, картограммы, графики, таблицы, модели.

3.2. Виды пространственного анализа данных

К основным, наиболее часто используемым видам пространственного анализа данных в ГИС относят функции работы с базами данных, формирование и редактирование пространственных данных, геокодирование, картометрические функции, создание буферных зон, оверлейные операции, специальные методы анализа.

Функции работы с базами данных. Функции анализа в этом случае включают в себя:

- изменение структуры баз данных – добавление или удаление полей, изменение их типов, ввод новых и редактирование имеющихся данных посредством выполнения специальных процедур анализа (вычисление площадей или определение соседей);
- поиск по запросу с одновременным выделением выбранных объектов, как в таблицах баз данных, так и на картах;
- вычисление (калькуляцию) новых значений поля по характеристикам других полей базы данных или других баз;
- создание производных баз данных путем объединения (классификации) записей исходной базы или выбором части полей исходной базы, объединение баз по общему (ключевому) полю и др.

Функции работы с базами данных значительно чаще других используются при анализе данных в ГИС.

Формирование и редактирование пространственных данных. Во всех полнофункциональных ГИС есть средства формирования и редактирования пространственных данных. Однако с позиций проведения пространственного анализа рассматриваются средства, в которых при формировании или редактировании одних данных используются другие.

Так, в большинстве геоинформационных систем присутствуют следующие операции ввода-редактирования данных:

- разбиение полигональных (линейных) объектов линиями (или их слияние);
- вычисление центов масс полигональных объектов с добавлением точечного слоя данных;

- преобразование точечных картографических объектов в полигональные или линейные (и наоборот);
- слияние картографических объектов по общему атрибуту;
- слияние картографических слоев.

Разбиение полигонального (линейного) объекта предусматривает простое его деление линией, проведенной от одной вершины к другой (рис. 3.1).

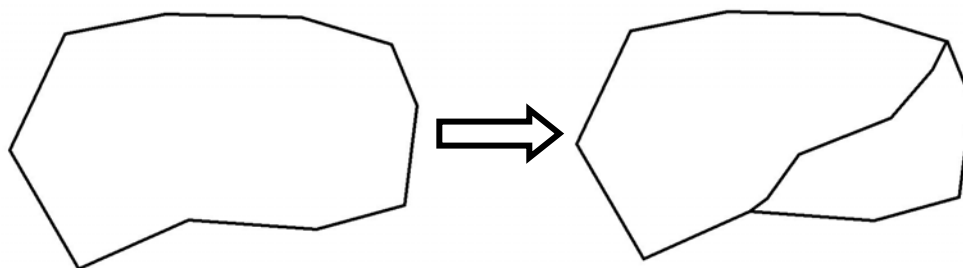


Рис. 3.1. Разбиение полигонального объекта

Вычисление центров масс полигональных объектов часто используется в задачах наследования атрибутов – когда необходимо атрибуты полигонального объекта перевести в точечный (и наоборот), определения оптимальных мест подписей и др. В данном случае ГИС на основе специальных алгоритмов определяет центр сложного полигонального объекта и отмечает его точкой (рис. 3.2).

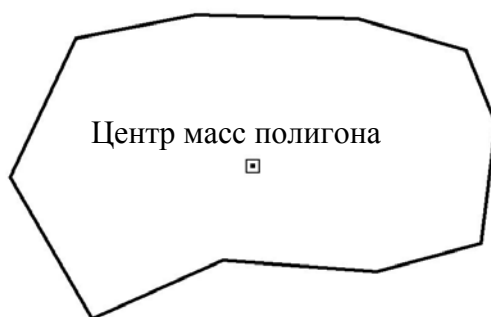


Рис. 3.2. Вычисление центров масс полигональных объектов

Задачи преобразования точечных объектов в полигональные (линейные) часто используются в ГИС при обработке данных *GPS*-съемки, когда по результатам спутниковых измерений необходимо создать пространственный объект в ГИС (рис. 3.3).

Операция слияния объектов по общему атрибуту позволяет построить более крупные картографические объекты, имеющие одина-

ковые атрибуты, например, вид земель, преобладающую древесную породу, балл эстетической оценки и др. (рис. 3.4).

Операция слияния картографических слоев позволяет объединить все объекты двух и более слоев в один (рис. 3.5). При этом атрибутивные данные картографических объектов также будут объединены при условии совпадения полей таблицы базы данных.

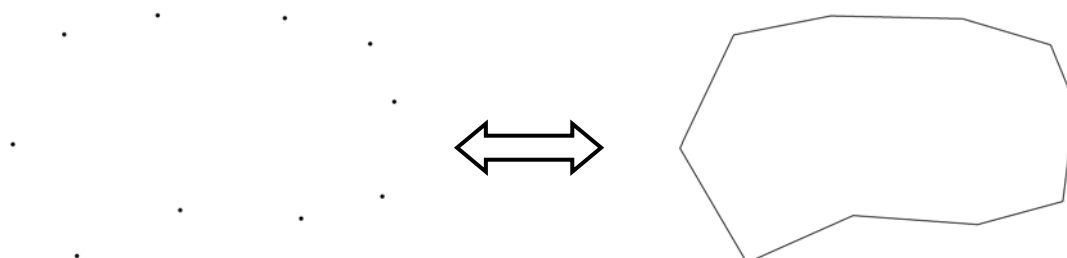


Рис. 3.3. Преобразование точечных и полигональных картографических объектов

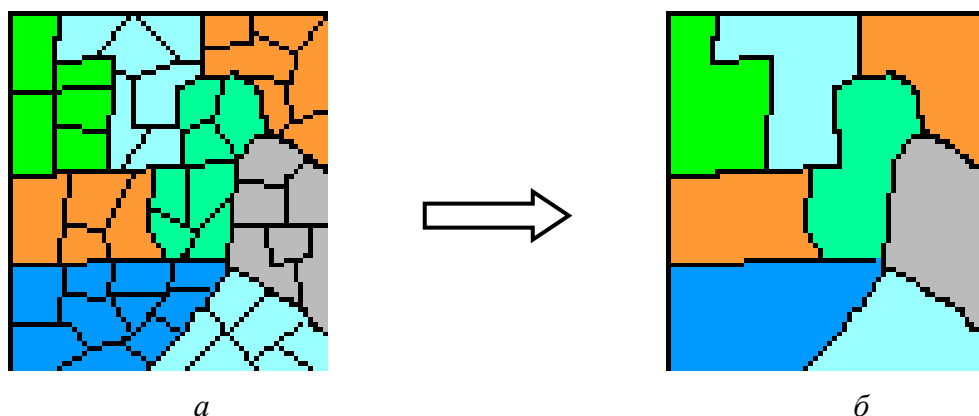


Рис. 3.4. Слияние картографических объектов по общему атрибуту:
а – входной картографический слой; б – результирующий картографический слой

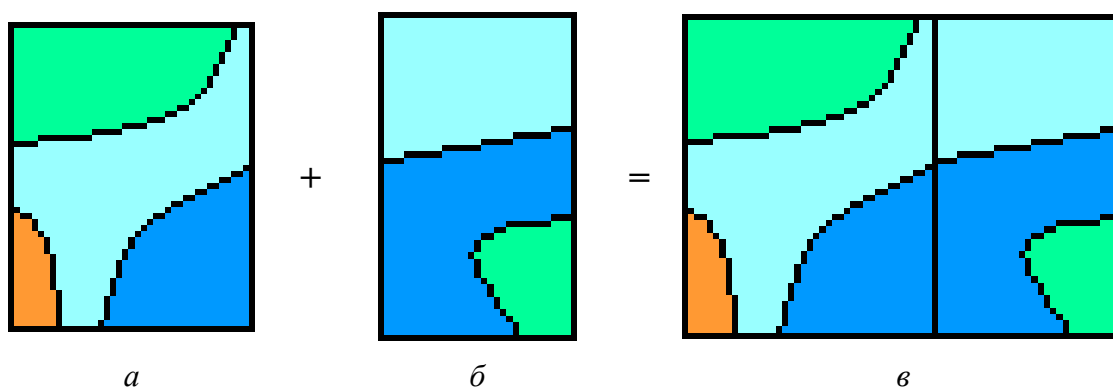


Рис. 3.5. Слияние картографических слоев:
а – картографический слой 1; б – картографический слой 2; в – результирующий картографический слой

Оверлейные операции. Сущность данного средства анализа состоит в наложении двух или множества разноименных картографических слоев с генерацией производных объектов, возникающих при их геометрическом наложении и сохранении их атрибутов. При этом наиболее распространен и практически важен случай оверлея двух полигональных слоев данных.

Проведение оверлейных операций включает следующие основные технологии:

- выбор картографических объектов одного слоя другим;
- вычитание полигональных объектов;
- вырезание объектов одного слоя другим;
- объединение объектов двух картографических слоев;
- присвоение атрибутивных данных по местоположению.

Операция выбора картографических объектов одного слоя другим подразумевает выделение объектов данного слоя, которые каким-либо образом перекрываются объектами другого слоя данных. В последующем, в зависимости от целей проводимого анализа, данные объекты могут быть сохранены в отдельный картографический слой или изменены их атрибуты.

При этом выбор картографических объектов может осуществляться по различным параметрам: выбор объектов из исходного картографического слоя, которые пересекают другой слой, полностью совпадают с данным слоем, находятся полностью внутри его или отстоят на определенном расстоянии.

Операция вычитания полигональных объектов используется для создания составных полигонов (рис. 3.6).

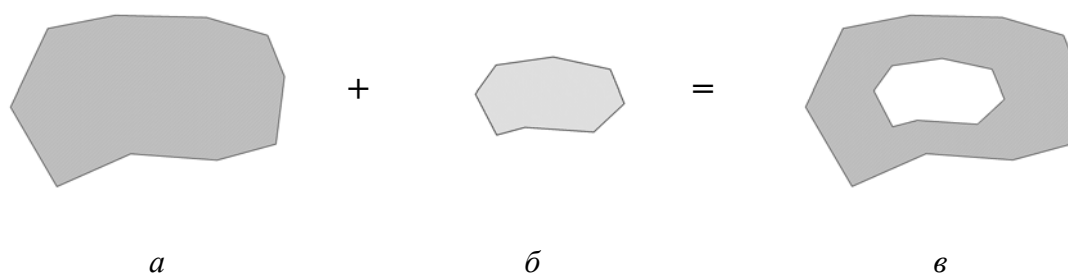


Рис. 3.6. Вычитание полигональных объектов:
a – исходный картографический объект; *б* – картографический объект наложения;
в – результирующий картографический объект

При этом объектами проведения данной операции служат непосредственно отдельные картографические объекты, которые должны быть выделены перед началом ее проведения.

Операция вырезания объектов одного слоя другим подразумевает создание результирующего слоя, который содержит пространственные объекты изначального картографического слоя в пределах слоя наложения (рис. 3.7).

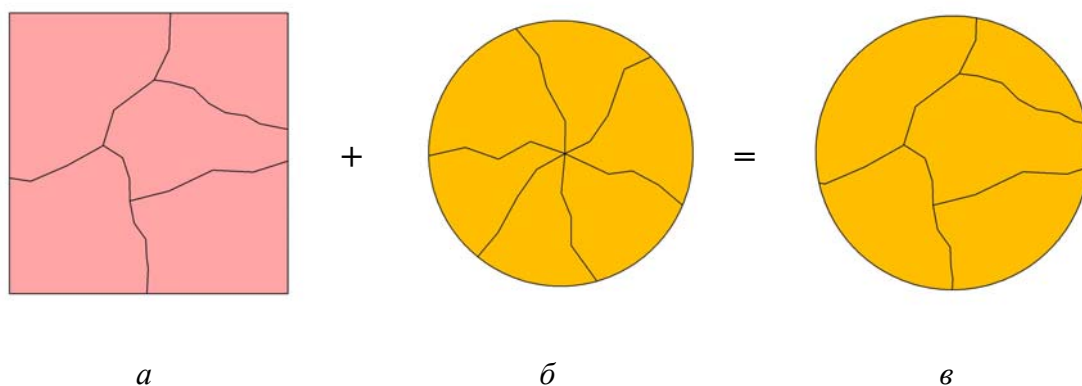


Рис. 3.7. Вырезание объектов одного слоя другим:
а – входной картографический слой; *б* – отсекающий картографический слой;
в – результирующий картографический слой.

В результате применения технологии объединения объектов двух картографических слоев формируется результирующий слой, который содержит объекты двух данных слоев в границах наложения (рис. 3.8).

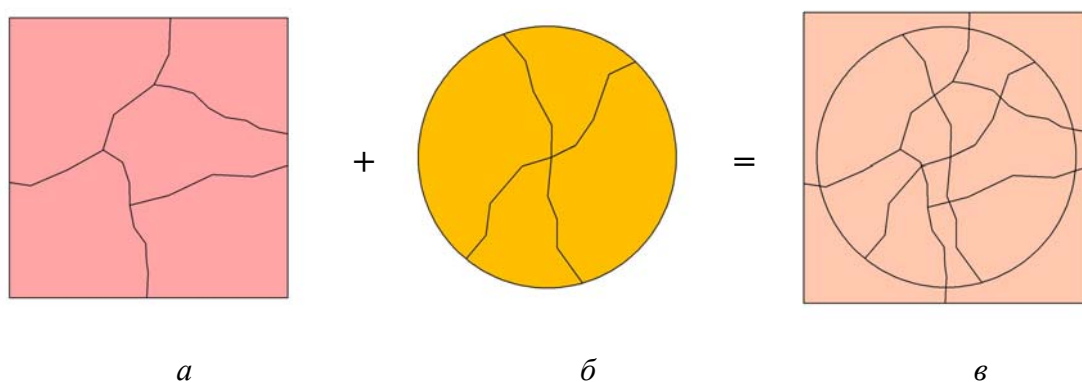


Рис. 3.8. Объединение объектов двух картографических слоев:
а – входной картографический слой; *б* – картографический слой наложения;
в – результирующий картографический слой.

Операция присвоения данных по местоположению осуществляет соединение атрибутивных таблиц двух картографических слоев, которые накладываются друг на друга (как правило, рассматривается наложение точечного картографического слоя, содержащего необходимые атрибутивные данные, на полигональный). Использование такой операции находит применение в решении задач наследования атрибутов, например, при необходимости подключения атрибутивных данных по выделительной характеристике картографического слоя «пункты таксации» в отдельный слой таксационных выделов.

Геокодирование. *Геокодирование – привязка к карте объектов, расположение которых в пространстве задается сведениями из таблиц баз данных.* Таким образом, технология геокодирования позволяет создавать картографические слои на основе атрибутивных данных, что дает возможность не хранить их отдельно, а формировать динамически по запросу пользователя. При этом информация о положении картографических объектов может быть представлена различными способами:

- координатами объектов – наиболее часто используемый способ. Например, точки привязки природных достопримечательностей, координаты которых получены приемниками глобальной системы позиционирования;

- адресами объектов в адресной системе территории, в данном случае адрес представляет собой уникальный идентификатор объекта;

- расстоянием от начала линейных маршрутов;

- расстоянием и дирекционным углом от исходных пунктов, положение которых определено в плане (полярная система координат).

Создание буферных зон. *Буферные зоны – полигональные объекты, границы которых отстоят на определенное расстояние от границ исходных объектов.* Буферные зоны могут создаваться для точечных, линейных и площадных объектов, а их размер задается радиусом r (рис. 3.9).

Данный вид пространственного анализа широко используется при оценке транспортной доступности объектов (например, определить достопримечательности, находящиеся на расстоянии не менее 500 м от действующих путей транспорта), зонировании территории (например, выделить участки леса, находящиеся в полосе 300 м от домов отдыха), оценке влияния одних объектов местности на расположение других (например, влияние расположения и густоты дорожно-тропиночной сети на степень деградации лесных насаждений), а также преобразования точечных (линейных) объектов в полигональные.

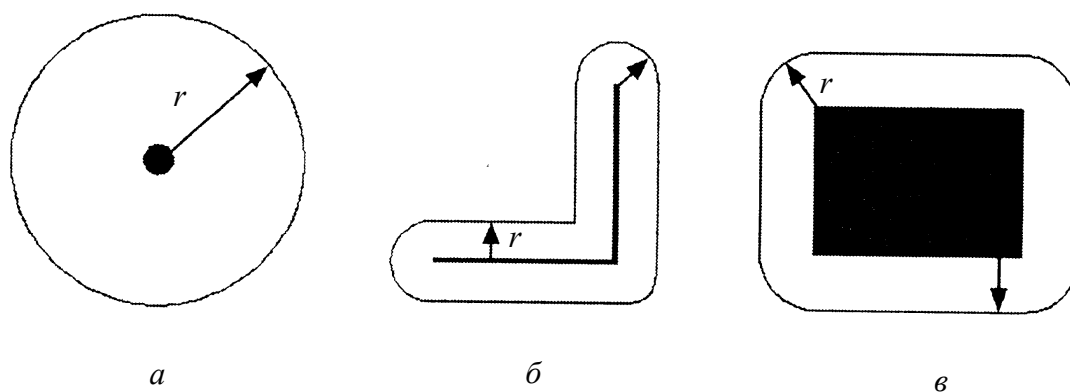


Рис. 3.9. Примеры построения буферных зон вокруг пространственных объектов разных типов:
а – точечный объект; *б* – линейный объект; *в* – полигональный объект

Выделяют простые буферные зоны и сложные. При создании простых буферных зон используется один радиус, а в случае сложных – несколько (рис. 3.10).

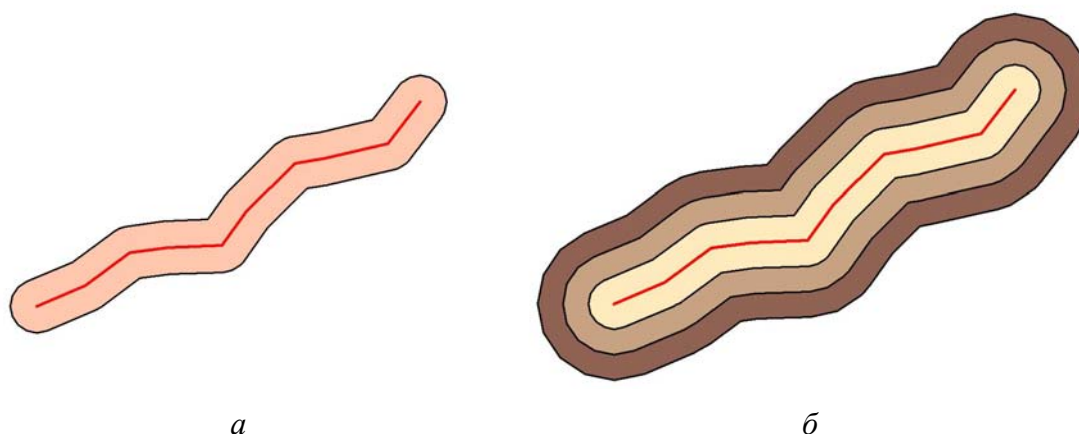


Рис. 3.10. Виды буферных зон:
а – простая буферная зона; *б* – сложная буферная зона

Картометрические функции. К картометрическим функциям, реализованным в ГИС, относят программные функции различных измерений: длин линий, площадей, объемов. К этой категории также относятся функции вычисления вторичных характеристик поверхностей – углов наклона и уклонов, экспозиций склонов, зон видимости.

Реализация алгоритмов картометрических функций ГИС зависит от вида используемой системы координат: прямоугольной или географической. В прямоугольной системе координат задачи решаются на плоскости, а в географической – на эллипсоиде.

Расстояние между двумя точками в прямоугольной системе координат вычисляется в соответствии с координатами данных точек на основе обратной геодезической задачи (3.1).

$$D = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}, \quad (3.1)$$

где D – расстояние между двумя точками на плоскости; X_1, Y_1 – прямоугольные координаты первой точки; X_2, Y_2 – прямоугольные координаты второй точки.

При вычислении расстояния между двумя точками в географической системе координат на эллипсоиде используются соответствующие формулы сферической тригонометрии (3.2).

$$D = R\delta; \quad (3.2)$$

$$\cos\delta = \sin\varphi_1 \sin\varphi_2 + \cos\varphi_1 \cos\varphi_2 \cos(\lambda_2 - \lambda_1), \quad (3.3)$$

где D – расстояние между двумя точками на эллипсоиде; φ_1, λ_1 – соответственно широта и долгота первой точки; φ_2, λ_2 – соответственно широта и долгота второй точки; R – радиус земного эллипсоида.

Площадь полигонального объекта в прямоугольной системе координат определяется в соответствии с формулами (3.4) или (3.5).

$$S = 0.5 \sum_{i=1}^n Y_i (X_{i+1} - X_{i-1}); \quad (3.4)$$

$$S = 0.5 \sum_{i=1}^n X_i (Y_{i-1} - Y_{i+1}), \quad (3.5)$$

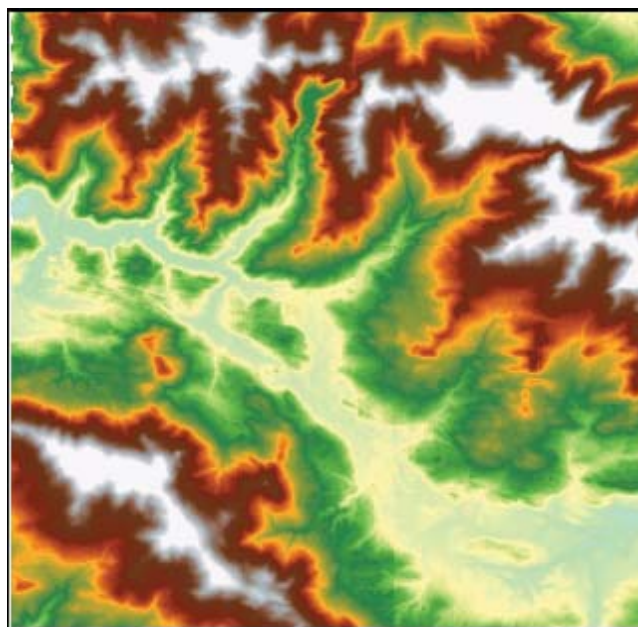
где S – площадь полигонального объекта в прямоугольной системе координат; X_i, Y_i – координаты вершины полигонального объекта; X_{i+1}, Y_{i+1} – координаты предыдущей вершины полигонального объекта; X_{i-1}, Y_{i-1} – координаты последующей вершины полигонального объекта; i – номер вершины полигонального объекта.

Для вычисления объемов объектов (например, земляных масс, водохранилищ) в ГИС используются трехмерные модели местности на основе представления *GRID* или *TIN*.

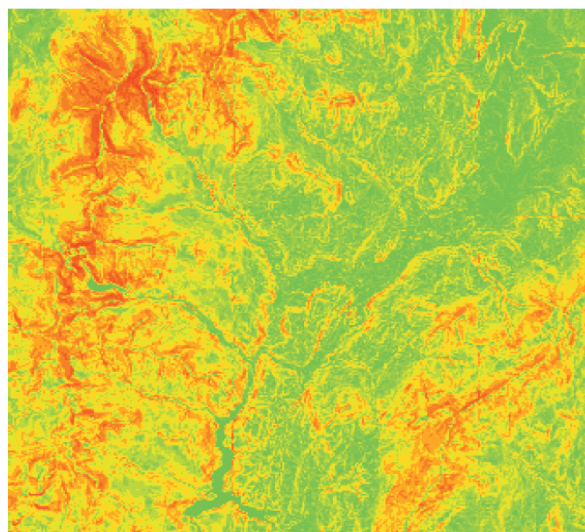
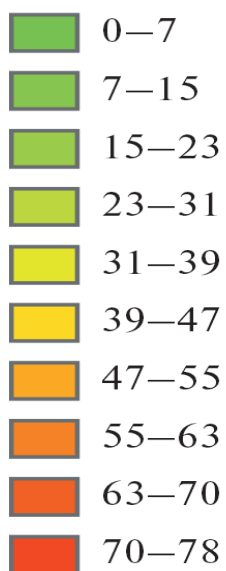
В некоторых ГИС реализованы программные функции расчета углов наклона местности, уклонов и экспозиций склонов. В этом случае в результате расчетов формируется соответствующая карта (рис. 3.11).

Специальные методы анализа. Специальные методы анализа используются в специализированных системах для решения задач уз-

кой направленности. При этом реализация данных программных функций осуществляется, как правило, при помощи внешних модулей. К таким методам анализа относят фрактальный анализ, метод нейронных сетей, метод нечетких множеств, геостатистический анализ данных и др.



a



б

Рис. 3.11. Создание карты уклонов:
a – исходная карта высот объектов; *б* – итоговая карта уклонов местности

Среди специальных методов анализа широкое распространение получил сетевой анализ данных, который позволяет пользователю решать различные задачи на пространственных сетях связанных линейных объектов: дороги, трубопроводы, линии электропередач и т. п. Сетевой анализ служит для нахождения ближайшего, наиболее выгодного пути, определения уровней нагрузки на сеть, установления зон влияния на объекты сети других объектов. К основным задачам, решаемым методом сетевого анализа, относят следующие: поиск ближайшего пункта обслуживания; разработка кратчайшего маршрута (с учетом направлений движения, ограничения передвижения по дорогам); подготовка маршрутного листа передвижения (маршрут может быть разработан как для проезда из одного пункта в другой, так и для посещения нескольких мест).

Моделирование поверхностей. К данному методу анализа относят технологии создания моделей местности по регулярным или нерегулярным точкам, а также модели двух- и трехмерной визуализации (например, построение участка местности в таксонометрической проекции). Одной из важнейших задач моделирования поверхностей является создание цифровых моделей рельефа. Под цифровой моделью рельефа понимают цифровое представление местности в виде трехмерных данных. Расчет таких моделей осуществляется на основе сведений о высотах объектов, которые могут быть получены в результате наземных геодезических съемок местности, использования топографических карт, а также данных дистанционного зондирования. Цифровые модели рельефа находят применение при проектировании различных инженерных сооружений, подборе участков с заданными характеристиками, а также создания реалистичных анимационных моделей с моделированием на них различных процессов (например, туристических маршрутов). Пример трехмерной модели местности, созданной на основе материалов космической съемки, представлен на рис. 3.12

3.3. Картографические анимации

Картографическая анимация – это вид компьютерной анимации, в которой используются пространственные данные: векторные карты, ЦММ, ДДЗ.

Компьютерная анимация – последовательный показ заранее подготовленных графических файлов, а также компьютерная имитация

движения с помощью изменения (и перерисовки) формы объектов или показа последовательных изображений с фазами движения.

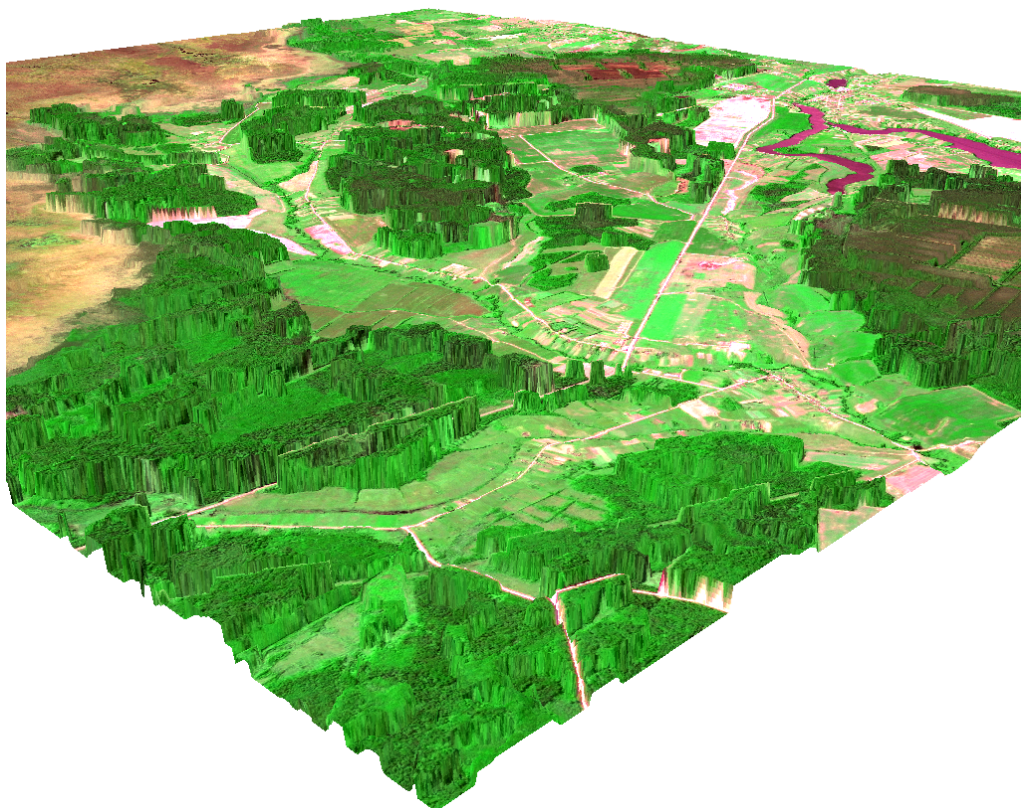


Рис. 3.12. Трехмерная модель местности (ГЛХУ «Дисненский лесхоз»)

В настоящее время можно выделить несколько видов картографических анимаций:

1. Анимированные двухмерные карты динамики:
 - площадных объектов на различные даты;
 - точечных объектов на различные даты (динамика положения или состояния объектов);
 - линейных объектов на различные даты (динамика положения или состояния объектов);
 - комплексные динамические двухмерные карты (показывают динамику площадных, линейных и точечных объектов).
2. Классические двухмерные карты, использующие в качестве изобразительного средства эффекты анимации.
3. Анимированные динамические трехмерные изображения:
 - анимированные поверхности (изометрия, динамическая изометрия – со сменой точки и угла обзора);
 - анимированные трехмерные блок-диаграммы и условные знаки.

4. Анимации в виртуально-реальностных изображениях:

- облет местности, движение по поверхности;
- движение в пространстве виртуальной реальности цифровой модели местности (ЦММ) одновременно с анимированием отдельных компонентов самой ЦММ (движение наземных и воздушных объектов, течение рек, метеоявления и пр.).

По конечному результату анимации можно подразделить на следующие типы:

1. Неуправляемая последовательность двухмерных кадров. При данной технологии просматривающий субъект не может ничего изменить – ни проекцию, ни угол обзора, ни масштаб изображения. Типичным примером такой анимации является анимация в формате *AVI* (формат видео-файлов для *Windows*). Несмотря на двухмерность самих кадров, содержание их может быть трехмерным (например, *AVI*-файл с анимированной трехмерной поверхностью).

2. Последовательность векторных карт, переводящаяся в растр и выводимая на экран в реальном времени. Анимация данного типа показывает в динамике изменение пользовательской проекции, масштаба, легенды, слоев данных. Обычно создание такой анимации ведется на базе уже существующих ГИС-пакетов с помощью системы внутренних команд или встроенного языка программирования.

Примером может служить анимация, составленная из последовательности векторных карт в формате интерактивно управляемая пользователем.

3. Управляемая пользователем модель данных, визуализируемая в результате расчетов. При данной технологии пользователь может изменить практически все параметры анимационной модели (скорость движения, угол зрения, дальность видимости, наличие атмосферных эффектов, движение прочих моделей в пространстве математической модели местности и т. п.), однако результаты изменений анимации он может увидеть лишь после просчета, в результате которого получается некорректируемая последовательность двухмерных кадров. Для создания требуется наличие специализированного ПО (*3D Studio MAX*, *Power Animator*, *Maya* и прочие продукты, предназначенные для создания сложной двух- и трехмерной графики).

4. Управляемая пользователем виртуальная модель местности, визуализируемая в режиме реального времени. При данной технологии пользователь может изменить все параметры анимационной модели, причем результаты изменений становятся видны сразу же и не предполагают каких-либо дополнительных расчетов. Создание модели

требует больших вычислительных мощностей, нескольких ГИС-пакетов, программ 3D-анимации и программирования.

Область применения анимированных картографических изображений практически не ограничена. Как известно, картографировать можно практически все, что нас окружает. Неоспоримо, что все картографируемые объекты со временем меняются, и, следовательно, для любого из них может быть создана картографическая анимация.

В настоящее время основными областями, для которых создаются и в которых используются картографические анимации, являются:

- оперативное (гидрометеослужбы) и экстренное картографирование при чрезвычайных ситуациях. Цели анимационного картографирования: своевременная поддержка принятия решения, выявление закономерностей развития картографируемого явления, прогнозирование развития ситуации на основании имеющегося динамического ряда состояний картографируемого процесса;

- учебный процесс (школы, вузы, военные учебные заведения и др.). Цель – достоверная передача знаний учащимся, более наглядная демонстрация ранее выявленных закономерностей развития картографируемых явлений и процессов;

- демонстрационно-рекламная и пропагандистская деятельность (различного рода презентации и показы, совмещающие демонстрацию картографических фильмов с разнообразной прочей информацией – тексты, графики, таблицы, фотоматериалы, видеозаписи). Цель – наглядная передача специализированной информации;

- фундаментальные исследования в области исторических, географических, геологических и общественных наук. Целью применения анимированных изображений в данном случае является более глубокий причинно-следственный анализ изучаемых процессов для выявления неизвестных ранее закономерностей.

4. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

4.1. Отличительные особенности программного обеспечения геоинформационных систем

Функциональные особенности программных средств географических информационных систем определяются их ориентацией на обработку и анализ пространственной и атрибутивной информации. Это программы, которые предназначены для сбора, ввода в машинную среду, обработки (манипулирования, анализа, моделирования, визуализации) и представления пространственно-координированных данных в форме различных (табличных, графических, картографических) выходных документов.

В результате развития геоинформационных систем и конкурентной борьбы между компаниями-производителями данного программного обеспечения, выработался ряд программных функций, наличие которых обязательно практически для любой геоинформационной системы. Таким образом, отличительные особенности программного обеспечения ГИС представлены в виде набора обобщенных функций (функциональных групп), среди которых принято выделять следующие.

Ввод и редактирование данных. К таким программным функциям относят аналого-цифровое преобразование данных с получением векторной или растровой модели, а также импорт готовых цифровых данных, контроль ошибок векторизации, топологической и геометрической корректности и общую оценку качества получаемой цифровой модели.

Поддержка моделей пространственных данных. Полученная в результате ввода цифровая модель может храниться и обрабатываться в рамках определенных моделей, к основным из которых относят растровую, векторную и регулярно-ячеистую, которым, в свою очередь, соответствуют специализированные форматы данных.

Хранение данных. Проектирование и ведение баз данных атрибутивной информации ГИС с поддержкой функций систем управления базами данных предусматривает ввод, хранение, обработку запросов, поиск, выборку, сортировку, обновление, сохранение целостно-

сти, защиту данных и создание базы метаданных. Названные функции реализуются в рамках основных моделей организации атрибутивных баз данных: иерархической, сетевой и реляционной.

Преобразование систем координат и трансформация картографических проекций. К таким функциям относят переход от условных декартовых прямоугольных координат источника к географическим координатам, пересчет координат пространственных объектов из одной картографической проекции в другую, преобразования растровых изображений по сети опорных точек.

Растрово-векторные операции. Геоинформационные системы обеспечивают возможности совместного использования двух наиболее распространенных моделей пространственных данных – растровой и векторной, преобразование форматов данных, автоматическое или полуавтоматическое преобразование растровых данных в векторные, векторных – в растровые.

Процесс преобразования растрового изображения в векторное получил название векторизация, а векторного в растровое – растеризация.

Картометрические функции. К данной группе программных функций ГИС относят различного рода операции измерений по цифровым картам: вычисление длин отрезков прямых и кривых линий, площадей, периметров, объемов, характеристик рельефа (уклонов, углов наклона и экспозиций).

Полигональные операции. Включают определение принадлежности точки или линии полигональному объекту, наложение полигонов (топологический оверлей), слияние, вырезание полигональных объектов.

Пространственно-аналитические операции (операции пространственного анализа). Одна из базовых групп функциональных возможностей ГИС, включающая анализ окрестности, расчет и анализ зон видимости-невидимости, сетевой анализ, расчет и построение буферных зон.

Пространственное моделирование. Включает построение и использование моделей пространственных объектов, их взаимосвязей и динамики процессов, создание и обработку цифровых моделей рельефа, построение трехмерных изображений местности, профилей поперечного сечения, изолиний по множеству значений высот, интерполяцию высот, автоматизацию аналитической отмывки рельефа, цифровое ортотрансформирование изображений.

Вывод данных. К программным функциям вывода данных относятся генерацию отчетов и формирование планово-картографических материалов по запросу пользователя, функции вывода сформированных электронных документов на печать, а также их экспорт во внешние форматы данных.

Структурно-программные средства ГИС можно разделить на три основных компонента:

- базовые программные средства;
- модули и приложения;
- вспомогательные средства (утилиты).

Однако наряду с этим имеются и облегченные программные продукты, предназначенные для визуализации картографической информации и решения простейших геоинформационных задач.

Базовые программные средства позволяют осуществить связь пространственной и атрибутивной информации, ее визуализацию, организацию запросов для выбора или поиска необходимых пространственных объектов, редактирование пространственной и атрибутивной информации и т. п.

Модули и приложения работают совместно с базовыми программными средствами и позволяют решать специализированные задачи: создание трехмерных моделей, геостатистический и сетевой анализ, координатная привязка растровых и векторных пространственных данных и т. п.

На основе выборочного использования модулей и приложений пользователь имеет возможность настроить свою геоинформационную систему на решение необходимых ему задач в конкретной области эксплуатации той или иной ГИС. Отличительной особенностью данных компонентов является то, что они работают в едином программном интерфейсе базовой оболочки ГИС, однако, как правило, требуют дополнительной установки.

Утилиты также предназначены для решения специализированных задач, однако являются независимыми программными продуктами и работают в рамках своего собственного интерфейса. С помощью данных вспомогательных средств осуществляется, как правило, преобразование форматов, систем координат и картографических проекций.

Базовые программные средства геоинформационных систем принято делить на полнофункциональные (универсальные) и специализированные.

4.2. Полнофункциональные геоинформационные системы

Полнофункциональные геоинформационные системы предназначены для работы в самых различных отраслях народного хозяйства, где присутствует необходимость работы с пространственной информацией: дорожное, сельское и лесное хозяйство, энергетика, геология, картография и др. При этом каждая отрасль характеризуется своей спецификой пространственной информации и технологией ее обработки, поэтому разработать универсальную геоинформационную систему практически невозможно. В этой связи программное обеспечение полнофункциональных ГИС обладает определенным рядом характерных особенностей.

Полнофункциональные геоинформационные системы поддерживают большое количество форматов векторных и растровых данных, а также обмен пространственной информацией (экспорт и импорт) со многими другими ГИС и системами автоматизированного проектирования (САПР) через основные обменные форматы: *SHP*, *MIF*, *DXF*, *GeoTIFF* и др.

Полнофункциональные ГИС обеспечивают работу со всеми основными СУБД через драйверы *ODBC* и *BDE*.

Характерной особенностью полнофункциональных геоинформационных систем является возможность расширения их функциональных возможностей путем разработки пользовательских модулей и приложений в соответствии с конкретной областью использования той или иной ГИС. При этом разработка данных дополнительных программных средств может выполняться путем программирования на языках высокого уровня (*MS Visual Basic*, *MS Visual C++* и др.) с подключением созданных *DLL*-, *OCX*-библиотек или с использованием специализированных сред создания пользовательских приложений, которые, как правило, включаются во все полнофункциональные ГИС. Например, для расширения перечня программных функций геоинформационной системы *MapInfo Professional* является язык *MapBasic*, *ArcGIS – Visual Basic*, а для системы *ArcView GIS – Avenue*.

В настоящее время компании, разрабатывающие программное обеспечение геоинформационных систем, стали создавать семейства программных продуктов, обеспечивающие как широкий спектр решаемых задач, так и масштабируемость системы от уровня настольных (мобильных) ГИС до пространственно распределенных систем. Ярким примером такого подхода является семейство программных продуктов *ArcGIS*.

В настоящее время существует порядка двадцати геоинформационных систем, которые можно отнести к разряду полнофункциональных. Среди них наибольшее распространение получили коммерческие системы *ArcGIS*, *ArcView GIS*, *MapInfo Professional*, ГеоГраф, а также свободно распространяемые системы *Quantum GIS*, *JVSig*.

ArcGIS. Данная система представляет собой семейство программных продуктов, позволяющих создавать геоинформационные системы, как небольших организаций, так и крупных корпораций.

Основой системы являются три интегрированных программных приложения *ArcView*, *ArcEditor* и *ArcInfo*, имеющих идентичный программный интерфейс, но различающихся выполняемыми программными функциями. При этом каждое из программных приложений включает три программных модуля: *ArcMap*, *ArcCatalog* и *ArcToolbox* (рис. 4.1) [7].

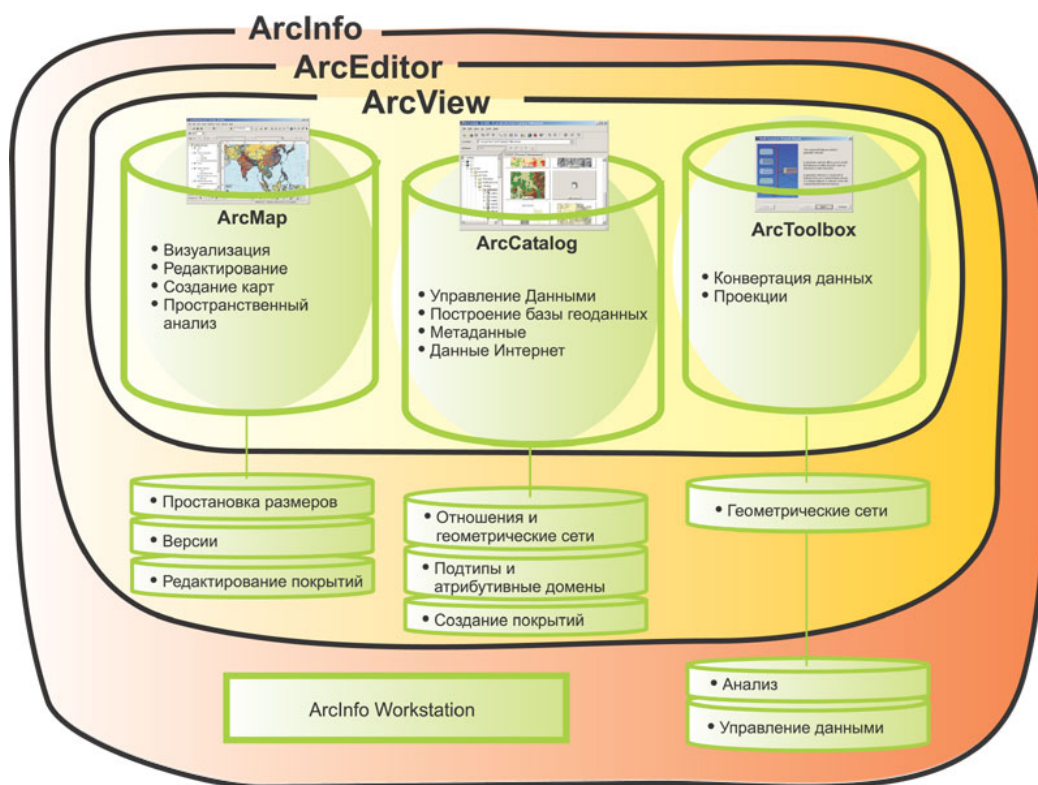


Рис. 4.1. Схема построения программного обеспечения системы *ArcGIS*

Программное приложение *ArcView ArcGIS* обеспечивает доступ к пространственным и атрибутивным данным, функции пространственного анализа, создания и оформления планово-картографических материалов, а также простейшее редактирование пространственных объектов.

ArcEditor в дополнение к программным функциям *ArcView* имеет дополнительные функции управления данными, а также расширенные функции доступа и редактирования пространственной и атрибутивной информации.

Программное приложение *ArcInfo ArcGIS* имеет самый богатый набор инструментов редактирования и анализа данных и в дополнение к программным функциям *ArcEditor* содержит расширенные функции геообработки, максимально полный набор инструментов конвертации данных, дополнительные функции пространственного и линейного анализа.

ArcCatalog – модуль *ArcGIS Desktop*, предназначенный для осуществления доступа к данным и управления ими на компьютере, в локальной сети или интернет. Все функции модуля делятся на три группы: просмотр и поиск пространственных данных разных форматов, работа с метаданными, создание структуры данных пользовательской ГИС.

ArcMap представляет собой основной программный модуль *ArcGIS Desktop*, основным назначением которого является работа с пространственной информацией и атрибутами картографических объектов. В модуле выполняется решение всех картографических задач, включая пространственный анализ и редактирование данных. При этом выделяют два режима работы: режим данных и режим компоновки. Режим данных применяется для анализа и обработки пространственной информации и атрибутивных данных, а режим компоновки – для подготовки планово-картографических материалов к печати. Интерфейс *ArcMap* представляет собой стандартное окно *Windows*, включает головное и пиктограммное меню, таблицу содержания и область отображения данных (рис. 4.2). Таблица содержания сходна с легендой карты: в ней перечисляются все картографические слои карты и фреймы (специальные структуры, объединяющие слои), отображаются условные обозначения и подписи слоев. Через таблицу содержания обращаются к контекстному меню картографического слоя и к диалогу его свойств.

Модуль *ArcToolbox* представляет собой совокупность программных функций, предназначенных для геообработки данных. Инструменты реализованы в виде готовых шаблонов последовательных действий, которые необходимо выполнить пользователю. В *ArcToolbox* имеется три основных набора инструментов: управления данными, анализа, конвертации данных. При этом каждый основной набор инструментов состоит из нескольких поднаборов. Набор инструментов

управления данными содержит поднаборы инструментов по преобразованию картографических проекций и систем координат, контроль картографических объектов и их атрибутов.

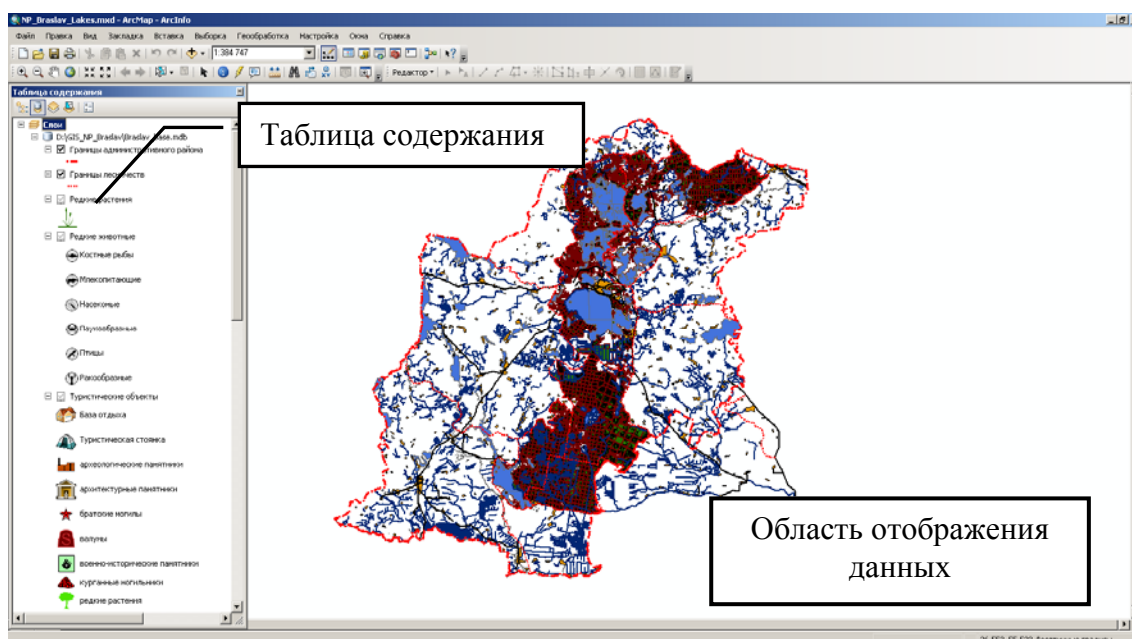


Рис. 4.2. Интерфейс модуля *ArcMap ArcGIS Desktop*

Набор инструментов анализа данных модуля *ArcToolbox* включает операции наложения, создания буферных зон, расчет статистических показателей, трансформацию векторных карт и многое другое. Внутри набора инструментов конвертации данных находятся программные функции по изменению форматов и моделей данных.

Для решения специализированных задач в *ArcGIS* может использоваться ряд дополнительных программных модулей. К основным видам данных программных средств следует отнести *ArcGIS Spatial Analyst*, *ArcGIS 3 D Analyst*, *ArcGIS Geostatistical Analyst*.

ArcGIS Spatial Analyst – модуль пространственного анализа данных, используемый для получения моделей рельефа, выявления пространственных взаимосвязей между картографическими объектами, определения подходящих местоположений объектов и др.

Дополнительный программный модуль *3 D Analyst* предназначен для работы с пространственными данными в трехмерном пространстве и создания трехмерных моделей местности на основе двухмерных данных, а модуль

Geostatistical Analyst – для статистического анализа пространственных данных.

Геоинформационная система *ArcGIS* позволяет пользователям разрабатывать любые программные модули и приложения с использованием внутреннего языка *Visual Basic*.

ArcView GIS. Эта система является настольной ГИС, которая представляет пользователю средства выбора и просмотра наборов разнообразных геоданных, их редактирования, создания макетов планово-картографических материалов. Система позволяет выполнять векторизацию карт с помощью дигитайзера или по растру, проводить запросы к атрибутивной и картографической базам данных, выполнять адресное геокодирование.

Самым общим структурным элементом, в котором организуется работа *ArcView GIS*, является проект. Проект – это файл с расширением *.apr*, в котором хранится вся работа, выполняемая в *ArcView GIS*. При этом проект включает в себя следующие компоненты: вид, таблица атрибутивных данных, диаграмма, компоновки, тексты программ, представленные в отдельном диалоговом окне проекта (рис. 4.3).

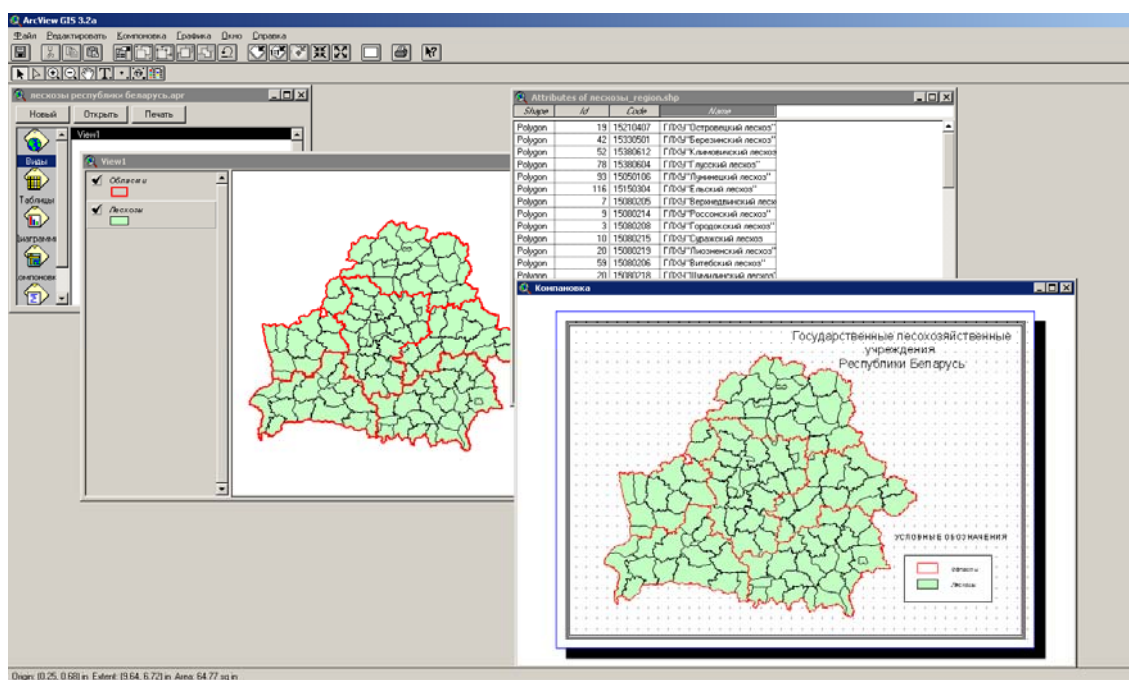


Рис. 4.3. Структура проекта *ArcView GIS*

Вид – это компонент проекта, который позволяет отображать, исследовать, делать запросы и анализировать пространственные данные. Вид содержится в проекте и фактически представляет собой совокупность тем. Тема – это заданный набор пространственных объектов в виде и является синонимом понятия «картографический слой».

Так вид лесной карты включает в себя темы выделов, кварталов, дорог, рек, озер и других объектов. Объекты, составляющие одну тему, должны иметь одну и ту же топологию (быть линейными, точечными либо полигональными).

Атрибутивная база данных в *ArcView* представлена в виде таблицы (второй компонент проекта). Каждому объекту на карте в рабочем окне вида соответствует строка описания в таблице атрибутивных данных. Пользователь имеет возможность редактировать таблицы, изменять в них значения, а также создавать свои собственные.

В *ArcView* представлены средства визуализации атрибутивных данных посредством создания по ним диаграмм. Таким образом, пользователь имеет возможность работы с географическими, табличными данными, а также с их представлением в виде диаграмм.

Компоновка – это карта, на которой пользователь может показать виды, диаграммы, таблицы, импортированную графику и графические примитивы. Она используется с целью подготовки этих графических объектов для вывода на печать или экспорта в отдельный графический файл. Таким образом, компоновка определяет, какие данные будут использоваться для вывода, и как они будут отображаться.

Текст программы (скрипт) является компонентом проекта *ArcView*, содержащим код программы на языке *Avenue*. Скрипты *ArcView* объединяют средства для выполнения трех общих целей: задачи автоматизирования, добавления новых возможностей в *ArcView* и создания новых законченных прикладных программ – приложений.

Все компоненты в сеансе работы с *ArcView* – виды, таблицы, диаграммы, компоновки и скрипты – для удобства их использования сохраняются в одном файле, при запуске которого автоматически загружается последняя сохраненная версия проекта.

В зависимости от компонента рабочего проекта, с которым осуществляется работа, программа имеет тот или иной рабочий интерфейс. Интерфейс также изменяется в зависимости от вида программного приложения, работающего на базе *ArcView GIS*.

MapInfo Professional. Это геоинформационная настольная система, предназначенная для обработки и анализа информации, имеющей адресную или пространственную привязку, представления статистической деловой информации. В *MapInfo* вся информация хранится в таблицах (*tables*). Таблица задается регистрационным файлом, который управляет данными, графическим представлением, индексацией, кодировками. Возможна работа с файлами форматов *Lotus 1-2-3*, *Excel*, *dBase*, причем созданные для них таблицы рассматриваются как

файлы *MapInfo*, загружаясь в дальнейшем без повторного импорта. Таблицы атрибутивных данных можно также создавать и редактировать средствами самой программы.

Таблица может быть визуализирована на экране в соответствующих окнах разными способами: как один из слоев карты, электронная таблица (список) или в виде графиков разных типов.

Географические данные представлены векторной графикой, причем площадные, линейные и точечные объекты могут содержаться в одной таблице (слое). Существует возможность использовать в качестве подложки растровые изображения.

Компонентами проекта, в котором осуществляется обработка данных, являются окна карт, списков (таблиц), графиков, выборок и отчетов. При этом все используемые таблицы можно объединить в рабочий набор, содержащий информацию об открытых таблицах и виде их представления.

С точки зрения функциональных возможностей геоинформационная система *MapInfo* позволяет:

- осуществлять связь с удаленными базами данных, находящимися под управлением различных СУБД;
- интегрировать карты *MapInfo* в офисные приложения *Windows* (*Excel*, *Access*, *Word*);
- работать в различных видах систем координат и картографических проекций, осуществлять их преобразования;
- выполнять пространственный анализ данных (построение буферных зон, оверлейные операции, картометрические функции и др.);
- с помощью расширенного языка запросов *SQL* проводить выборки объектов по атрибутивным данным и осуществлять их дополнительную обработку: создание новых полей, вычисление производных атрибутивных характеристик, сохранение результатов в отдельных базах данных;
- выполнять редактирование картографических объектов: изменение их формы, совмещение при редактировании, перемещение, копирование и удаление и др.;
- создавать тематические карты различными методами: картограмм, картодиаграмм, значков, отмывкой рельефа и др.;
- осуществлять трехмерную визуализацию поверхностей и картографических объектов;
- с помощью модуля деловой графики выполнять построение диаграмм различных видов: столбчатых, круговых, линейных и др.

Геоинформационная система *MapInfo* представляет пользователю возможности разработки собственных пользовательских приложений с использованием внутренней среды разработки на языке *MapBasic*.

ГеоГраф. ГеоГраф является одним из программных продуктов ГИС, разработанных Центром геоинформационных исследований Института географии РАН. Система предоставляет пользователю возможности по созданию электронных тематических атласов и композиций карт на основе слоев цифровых карт и связанных с ними таблиц атрибутивных данных.

ГИС ГеоГраф включает следующие основные функциональные возможности:

- создание электронных атласов и карт на основе композиций слоев цифровых векторных карт и связываемых с ними таблиц, а также растровых изображений;
- поиск данных и выборка объектов на карте или в таблице в соответствии с запросом пользователя;
- проведение оверлейных операций с созданием таблиц отчетов по результатам оверлея;
- цифровое тематическое картографирование: классификация объектов, выбор графических переменных для классов, отображение тематических карт;
- картометрические функции и построение буферных зон;
- создание и редактирование как топологических, так и нетопологических векторных слоев;
- растрово-векторные преобразования;
- преобразование систем координат (включая пакетную обработку);
- управление атрибутивными данными: редактирование, выборка, сортировка, присоединение таблиц, выполнение запросов;
- создание композиций карт для вывода их на печать.

4.3. Специализированные геоинформационные системы

Отличительной особенностью специализированных ГИС является их проблемная ориентация на решение конкретных задач в какой-либо предметной области. Данные системы изначально разрабатываются для заданной отрасли (например, сельское хозяйство, транспорт, природоохранная деятельность), и их использование в смежных отраслях практически невозможно.

Области использования специализированных геоинформационных систем весьма разнообразны и охватывают практически все отрасли, связанные с обработкой пространственной информации: экология (ГИС «Эколог»); управление системами автомобильных дорог (*IndorGIS/Road*); управление инженерными коммуникациями (*ZuluThermo*, *ZuluHydro*), лесное хозяйство и природоохранная деятельность (ГИС «Лесные ресурсы», *Topol-L*), системы ведения земельного и градостроительного кадастра (*GeoCad Systems*) и др.

Topol-L. Данная геоинформационная система предназначена для лесного хозяйства, лесоустройства и включает функциональные возможности для работы с информацией о лесном фонде, представленной в виде совмещенных картографических и лесотаксационных баз данных.

ГИС *TopoL-L* состоит из базового программного продукта *TopoL* (Чехия), который работает с картографией, и программной надстройки «ЛесИС» (*L*) для работы с таксационными данными. Обе подсистемы могут работать как совместно, так и отдельно, поскольку обе являются самостоятельными продуктами.

Геоинформационная система *TopoL-L* ориентирована для работы на различных уровнях: от отдельного лесохозяйственного предприятия до региона в целом. В зависимости от уровня работы, система использует различные типы баз данных: повыдельная – для уровня лесохозяйственного предприятия, поквартальная – для уровня региональных органов власти, по лесничествам и регионам – для федеральных органов власти. При этом на любом уровне управления при работе с информацией интерфейс, функциональность и основные приемы работы идентичны.

Функциональные возможности программы одинаковы для разных уровней управления по своим возможностям и принципам работы, а отличаются только типом данных. Программа позволяет просматривать атрибутивную информацию – таксационные описания выдела, поквартальные итоги, данные государственного учета лесного фонда по лесничествам и регионам.

В ГИС *TopoL-L* реализована система поиска информации. При этом, в зависимости от уровня базы данных, поиск можно осуществлять по любым заданным условиям по регионам, лесничествам, кварталам, выделам.

Доступно формирование тематических карт с окраской регионов, лесничеств, кварталов или выделов по значениям любых показателей из атрибутивной базы данных.

Геоинформационная система *TopoL-L* позволяет вести отдельную базу данных по арендаторам лесного фонда, в ней предусмотрен учет договоров, объемов запланированных и фактически выполненных лесохозяйственных работ, имеет программные функции планирования отводов лесосек с внесением текущих изменений в картографию и повыдельную базу данных, выполнения материально-денежных оценок лесосек с ведением отдельной базы данных. Кроме этого, благодаря развитым функциональным возможностям работы с растровой графикой, система позволяет делать привязку топографических карт, аэрофотоснимков или космоснимков к системе координат, а также создавать разные виды лесных планово-картографических материалов.

В ГИС *TopoL-L* реализованы программные функции импорта и экспорта векторных данных в основные открытые форматы – *Shp*, *MidMif*, *DXF*.

ГИС «Лесные ресурсы». ГИС «Лесные ресурсы» является автоматизированной специализированной системой, предназначенной для предприятий и управлений лесного хозяйства и лесной промышленности. Система позволяет решать ряд практических задач по учету лесного фонда, текущему планированию рубок леса, лесовосстановлению, противопожарных и лесозащитных мероприятий; созданию тематических лесных карт по запросу пользователя; кадастровой оценке лесов; охране окружающей среды; мониторингу лесов и сохранению их биологического разнообразия; учету текущих изменений в лесном фонде; получению в автоматическом режиме различных отчетов; подготовке и печати планово-картографических материалов; использованию средств глобального позиционирования и т. д.

Проект ГИС «Лесные ресурсы» включает картографическую и атрибутивную базы данных, функционирующие на базе программного обеспечения *Formap*. Картографическая база данных представляет собой цифровые карты лесхоза и входящих в его структуру лесничеств во внутреннем формате векторной графики *fmp*. При этом система поддерживает простейшую нетопологическую векторную модель данных. Цифровые карты создаются в процессе проведения базового лесоустройства и включают стандартный перечень лесных и общетопографических слоев: границы кварталов, выдела, асфальтированные и грунтовые дороги, населенные пункты, реки и озера, подписи и др.

Атрибутивная база данных включает ряд не связанных между собой таблиц в формате *Paradox*, содержащих информацию как о таксационных описаниях лесных насаждений и других видах земель лесного фонда (повыдельная база данных), так и сведения о смежных видах

земель и землепользователях, получаемых из земельной информационной системы Республики Беларусь. При этом атрибутивные данные по землям Государственного лесного фонда получают в процессе проведения базового лесоустройства.

Основными элементами программного интерфейса ГИС «Лесные ресурсы» являются головное и пиктограммное меню, область вывода картографической информации и строка сообщений (рис. 4.4).

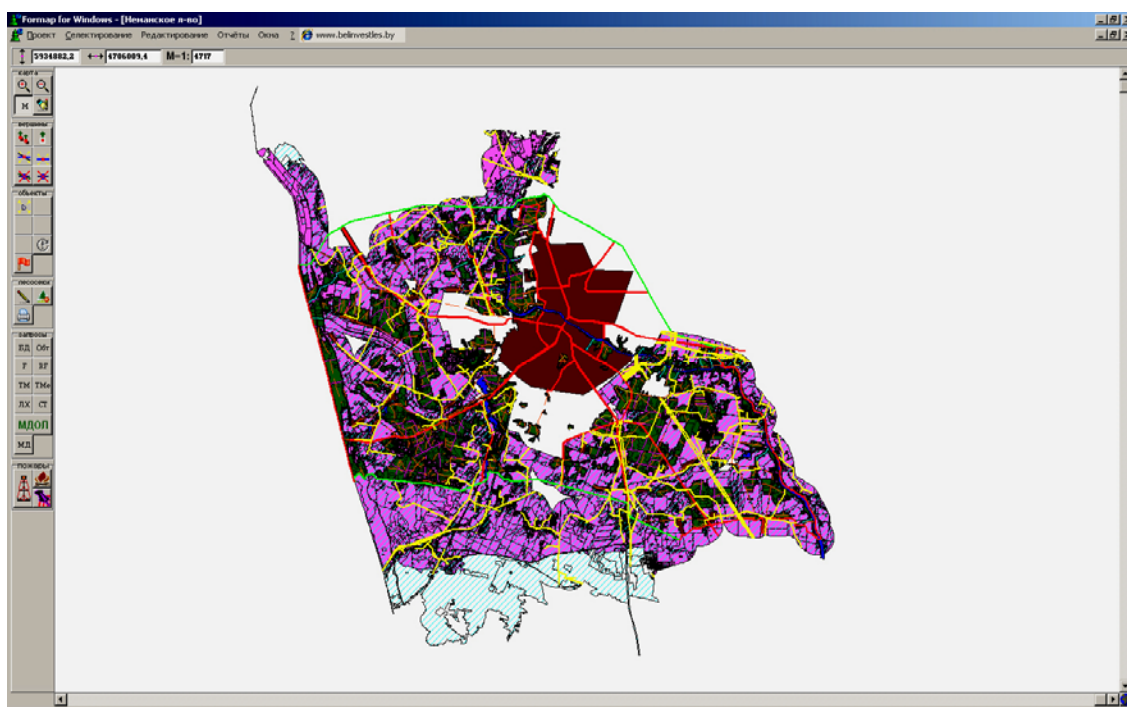


Рис. 4.4. Интерфейс работы с ГИС «Лесные ресурсы»

ГИС «Лесные ресурсы» имеет значительный набор программных функций, наилучшим образом адаптированных к решению задач лесного хозяйства и лесоустройства, основными из которых являются:

- создание и редактирование картографических объектов цифровых карт;
- создание как стандартных тематических лесных карт (распределения по преобладающим породам, категориям защитности, и др.), так и специальных – по запросу пользователя;
- создание специализированных форм документов по учету лесного фонда (форма 1, 2), форм таксационного описания, а также создание пользовательских уникальных форм отчетных документов;
- ведение отдельной базы данных по текущим изменениям в лесном фонде с созданием соответствующих форм отчетных документов;

- создание и редактирование картографических объектов цифровых карт как с использованием данных геодезической буссольной съемки, так и на основе проведенных спутниковых *GPS*-измерений;
- определение мест возгораний по цифровой карте на основе данных наблюдений с противопожарных наблюдательных вышек;
- оформление данных отводов лесосечного фонда и выполнение материально-денежных оценок лесосек;
- подготовка планово-картографических материалов к печати;
- импорт и экспорт цифровых карт в обменные форматы векторной графики *DXF*, *SHP*.

В настоящее время ГИС «Лесные ресурсы» является наиболее распространенной геоинформационной системой в лесном хозяйстве и природоохранной деятельности Республики Беларусь, содержащей наиболее полную информацию о землях лесного фонда, которая также может быть использована с целью организации объектов экологического туризма.

Земельная информационная система (ЗИС). Представляет собой комплекс программно-технических средств, баз пространственно-атрибутивных данных, каналов информационного обмена и других ресурсов, обеспечивающий автоматизацию накопления, обработки, хранения и предоставления сведений о состоянии, распределении и использовании земельных ресурсов в электронном виде, в том числе средствами геоинформационных технологий [8].

Земельная информационная система Республики Беларусь предназначена для решения следующих основных задач: информационного обеспечения деятельности землеустроительной службы по управлению и контролю за использованием земель и формирования государственной статистической отчетности о состоянии и использовании земельных ресурсов; выполнения работ по массовому первичному государственному кадастровому учету земельных участков и государственной регистрации прав на них; составления документов, удостоверяющих права на земельный участок; подготовки материалов по предварительному согласованию места размещения народнохозяйственных объектов, изъятию и предоставлению земельных участков; формирования кадастровых карт; ведение текущего государственного учета земель.

Земельно-информационная система Республики Беларусь – это распределенная, топологическая, дискретная, послойно организованная в пространстве и во времени система.

Под термином «распределенная система» понимается принцип территориального разделения процессов формирования и эксплуатации ЗИС (рис. 4.5). В этой связи ЗИС Республики Беларусь включает:

- локальные – административных районов и городов;
- региональные – областного уровня;
- центральную – республиканского уровня.

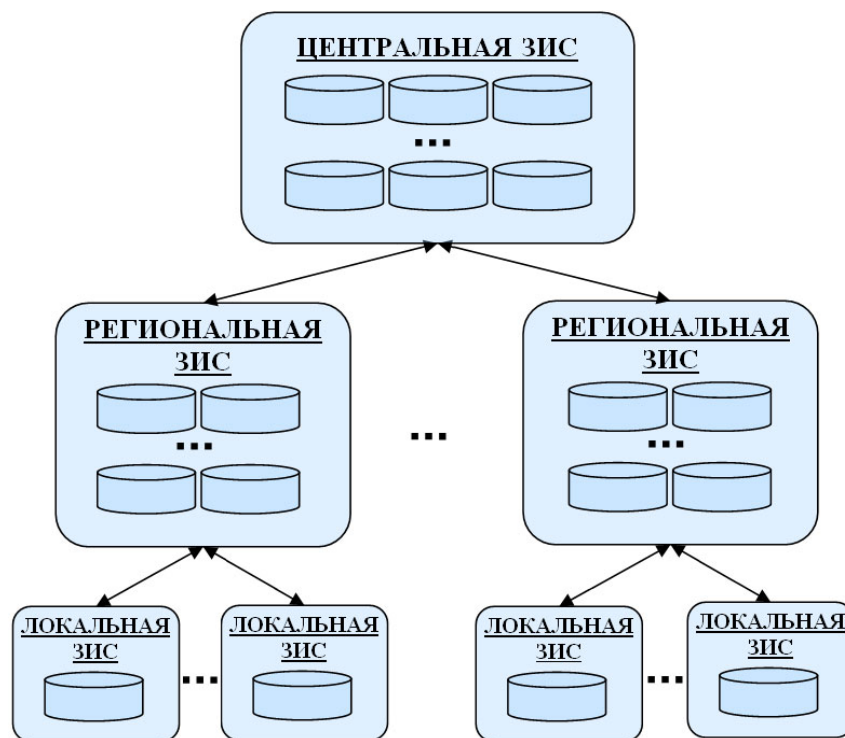


Рис. 4.5. Структурная схема ЗИС Республики Беларусь

Под топологией подразумевается соблюдение определенных правил описания пространственных объектов слоев ЗИС. Например, для слоя земельных участков определены правила «не должны перекрываться» и «не должны иметь пробелов».

Под дискретностью понимается, во-первых, использование при цифровом описании пространственных объектов допуска неразличимости равного 0,01 м, а, во-вторых, формирование и хранение векторной части модели в границах административных районов, а растровой части – в рамках трапеций листов соответствующих карт и планов.

Послойная организация информации ЗИС предусматривает представление объектов различных типов (точечные, линейные, площадные) разными картографическими слоями, что, в свою очередь, также является одним из условий правильного создания пространственно-атрибутивной базы данных.

Группы слоев ЗИС могут содержать в себе один или более слоев пространственной информации различного типа. Их перечень приведен в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Картографические слои ЗИС Республики Беларусь

Группы слоев	Слои	Типы слоев	Содержание
Границы	Административно-территориальные единицы	Полигональный	Объекты административно-территориального и территориального деления
	Земельные участки	Полигональный	Границы земельных участков собственников, владельцев, пользователей, арендаторов
	Ограничения землепользования	Полигональный	
	Земельное покрытие	Полигональный	Водоохранные зоны, прибрежные полосы, санитарно-защитные полосы водоводов, охранные зоны ЛЭП, охранные зоны трубопроводов, зоны радиоактивного загрязнения, земли: оздоровительного, рекреационного, историко-культурного, природоохранного назначения и др.
Земли	Мелиоративное состояние земель	Полигональный	Контурные земель
	Пересечение контуров землевладений, ограничений, земель и мелиорации	Полигональный	Контурные видов мелиоративного состояния земель
Пересечение	Коммуникации	Линейный	
Детали	Ограждения	Линейный	Объекты коммуникаций
	Внемасштабные объекты и символы	Точечный	Ограждения
	Аннотации	Точечный	Точечные объекты и символы
	Листы земельно-кадастровой карты	Полигональный	Названия и подписи объектов или групп объектов
	Ортофотокарта	Каталоги изображений	Мозаичная растровая ортофотокарта района или населенного пункта

Согласно техническому кодексу [9], пространственные данные ЗИС представляются в системе координат СК-63. Точность отображе-

ния пространственных данных для объектов в границах населенных пунктов должна соответствовать точности топографических планов масштаба 1:2 000, а для объектов на остальной территории – топографических карт масштаба 1:10 000. Это, в свою очередь, обеспечивает средние ошибки в плановом положении объектов местности и четких контуров относительно ближайших пунктов и точек геодезической основы в первом случае не более 1 метра, а во втором – 5 метров.

С точки зрения программной реализации, земельная информационная система Республики Беларусь базируется на программном обеспечении *ArcGIS* уровнем *ArcInfo* (*ArcView*), включающих, все характерные для базовых оболочек программные функции (рис. 4.6).

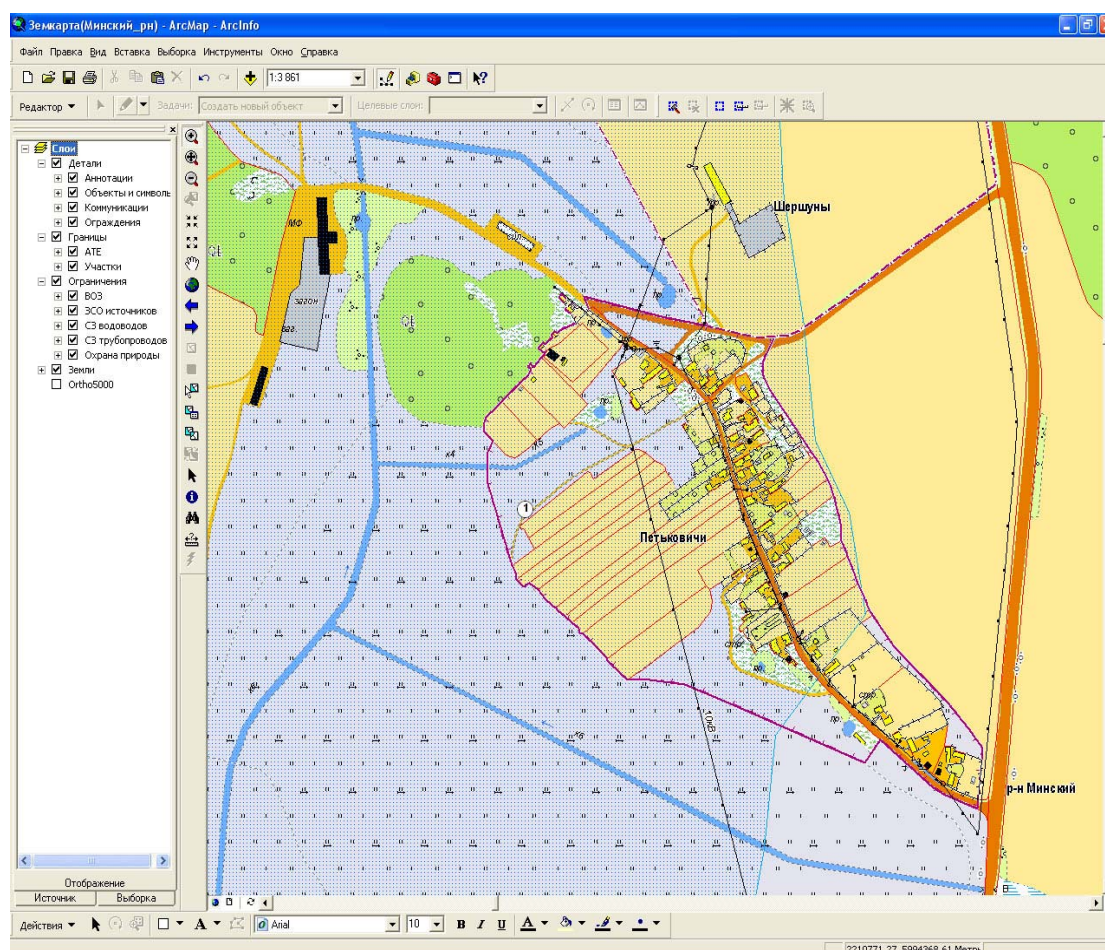


Рис. 4.6. Фрагмент комплексной земельной кадастровой карты ЗИС

При этом архитектура *ArcGIS* обеспечивает внедрение ГИС-функциональности в работу землеустроительной службы на разных организационных уровнях: на серверах и персональных компьютерах, в локальных сетях организаций, на переносных компьютерах и, с по-

мощью интернет-технологий, – в полевых условиях. Поддерживается работа как отдельных пользователей, так и многопользовательский, в том числе удаленный режим обработки и анализа данных отделов и организаций. Однако при создании цифровых карт ЗИС на разных этапах используется ряд специализированного программного обеспечения обработки материалов аэрофотосъемки, векторизации и координатной привязки.

В целом, при создании и эксплуатации земельной информационной системы значительно большее внимание уделяется представлению конечному пользователю точной, корректной пространственной и атрибутивной информации, нежели развитию программных средств ее дальнейшего анализа.

В свою очередь, информация ЗИС служит основой для создания практически всех отраслевых геоинформационных систем, разрабатываемых и эксплуатируемых в Республике Беларусь.

4.4. Векторизаторы

К векторизаторам относят программные средства для выполнения растрово-векторного преобразования (векторизации) пространственных данных. При этом под векторизацией понимается процесс преобразования растровой модели пространственных данных или аналоговой (бумажной) карты в векторную модель данных.

В силу своего функционального назначения программное обеспечение векторизаторов обладает рядом особенностей, основными из которых являются:

- поддержка большого количества форматов векторных и растровых данных;
- предварительная обработка подвергаемых векторизации растровых изображений (удаление случайного шума, чужеродных объектов и объектов, векторизация которых не требуется и др.);
- наличие процедур автоматизированной и автоматической векторизации;
- оптимизация формы линий и уменьшение числа вершин;
- выявление ошибок в топологии векторных объектов;
- коррекция ошибок векторных объектов;
- ввод атрибутивных данных векторным объектам.

Среди наиболее часто используемых векторизаторов следует отметить *Easy Trace*, *Geo Draw*, *MapEDIT*.

Easy Trace. Этот векторизатор обеспечивает поддержку всего цикла подготовки данных и возможность обработки низкокачественных и сильно изношенных картографических материалов. В основе технологии, реализованной в *Easy Trace*, лежит возможность загрузки мозаик растровых изображений практически неограниченных размеров. Так, размеры отдельных растров могут превышать объем 2 Гбт и иметь любую глубину цветности. Количество векторных слоев неограниченно, при этом каждый слой может содержать до миллиона объектов. Общий интерфейс работы с данным векторизатором при создании лесных карт представлен на рис. 4.7.

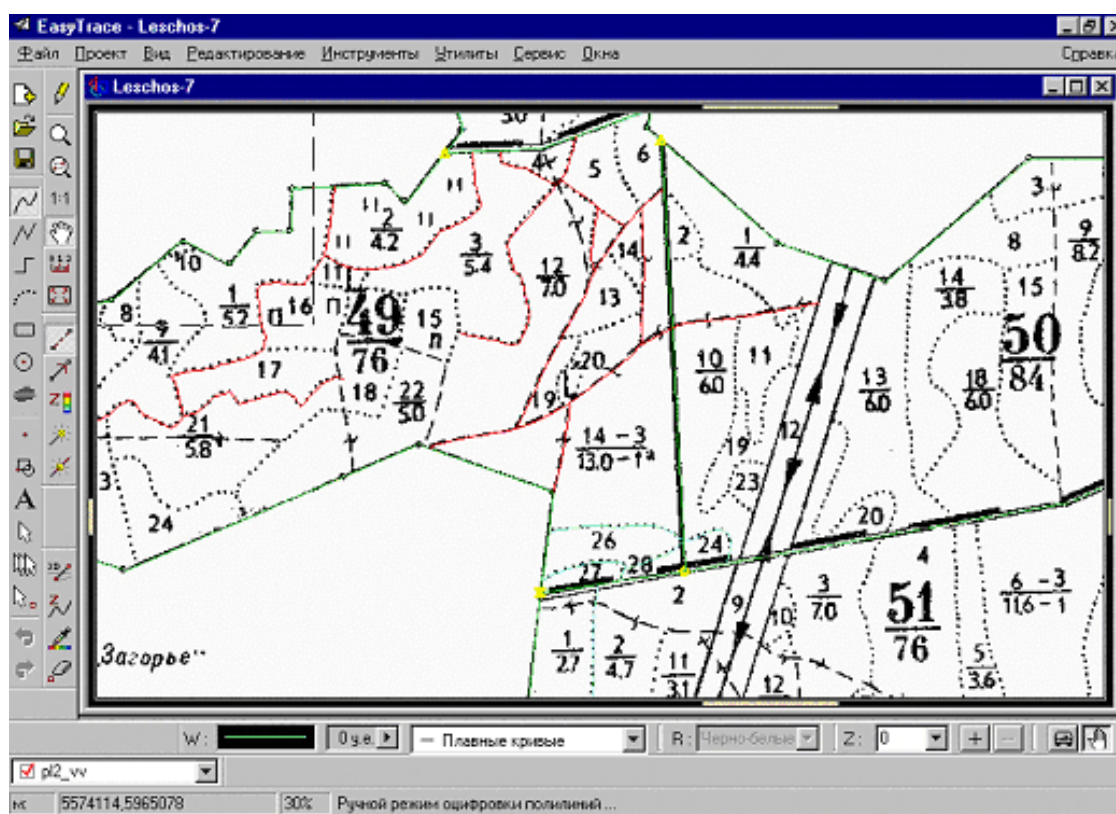


Рис. 4.7. Векторизация в *Easy Trace*

Технология создания векторных моделей данных в векторизаторе *Easy Trace* включает следующие основные этапы:

- сканирование и ввод растровой информации: сканирование непосредственно из векторизатора, поддержка произвольной совокупности растров различной глубины цветности и различных форматов данных, работа с многослойными растрами;
- предварительная обработка растров: геометрическая коррекция, координатная привязка, объединение растровых фрагментов и др.;

- векторизация: поддержка режимов автоматической, автоматизированной и ручной векторизации, ввод атрибутивных данных, контроль векторных объектов и др.;
- редактирование векторных данных;
- экспорт созданных векторных моделей в различные форматы векторной графики.

Векторизатор *Easy Trace* широко используется в настоящее время при производстве векторных карт на территорию лесного фонда Республики Беларусь.

Geo Draw. Векторный редактор *GeoDraw* предназначен для создания баз цифровых карт и планов, соответствующих требованиям современных геоинформационных систем. *GeoDraw* поддерживает построение корректной топологической и многослойной структуры пространственных объектов, идентификацию объектов и связывание их с базами атрибутивных данных, широкий спектр функций трансформации векторных карт и растровых изображений для их дальнейшей интеграции в единые базы, работу с 40 картографическими проекциями, экспорт и импорт цифровых карт в форматы, используемые наиболее популярными ГИС.

Редактор обеспечивает перевод карт и планов в цифровую форму при помощи дигитайзера, путем векторизации по черно-белым и цветным растровым изображениям любой цветности и разрешения (поддерживается загрузка более 30 популярных форматов растровых изображений), ввод координат пространственных объектов вручную, а также их импорт с электронных геодезических приборов и *GPS*-приемников, возможность векторизации одновременно в нескольких окнах, с индивидуально формируемым набором слоев и легендой в каждом окне.

MapEDIT. Программное обеспечение *MapEDIT* предназначено для создания и редактирования цифровых векторных карт с использованием в качестве основы растровых изображений обычных карт, космических и аэрофотоснимков, схем и других картографических материалов.

Векторизатор *MapEDIT* поставляется в двух версиях: *MapEDIT PRO* с возможностью фотограмметрической обработки аэро- и космических снимков и *MapEDIT* – без таких возможностей.

Векторизатор *MapEDIT* обеспечивает решение следующих основных задач:

- выполнение автоматизированной и ручной векторизации по растровым изображениям различной глубины цвета с разделением объектов карты по картографическим слоям;

- ввод атрибутивных данных, характеризующих объект, в базу данных одновременно с векторизацией;
- координатная привязка карты, исправление искажений бумажных оригиналов;
- контроль корректности топологических отношений введенных объектов;
- экспорт полученных цифровых векторных карт и баз данных в форматы ГИС и САПР.

К достоинствам системы относят: возможность работы с растрами более 40 форматов; ведение классификаторов, структуры и ввод атрибутивных данных; наличие программных функций сшивки растровых изображений и векторных карт; поддержка систем географических координат.

4.5. Системы обработки данных дистанционного зондирования

Дистанционное зондирование Земли в широком смысле – это получение любыми неконтактными методами информации о поверхности Земли, объектах на ней или в ее недрах, как правило, в виде изображения земной поверхности в определенных участках электромагнитного спектра [3]. Информация, полученная в виде фотографического, сканерного, радиолокационного или иного изображения в цифровом либо аналоговом виде получила название данных дистанционного зондирования (ДДЗ).

Поскольку ДДЗ поставляются пользователю в растровом виде, то и системы их обработки ориентированы, главным образом, на обработку растровых данных. Однако профессиональное программное обеспечение для обработки ДДЗ имеет определенные особенности, отличающие его от систем обработки растровых данных общего назначения (например, *PhotoShop*). При этом основное различие обуславливается спецификой самих данных дистанционного зондирования.

Системы обработки ДДЗ ориентированы на работу с файлами больших объемов. Так космические снимки систем сверхвысокого пространственного разрешения могут иметь объем более 1 Гб. Для того чтобы выполнить обработку таких снимков, требуется объем дискового пространства минимум в 2–5 раз больше, чем занимает исходное изображение.

ДДЗ – зачастую, многозональные снимки с числом зон более трех (иногда несколько десятков или сотен), которые невозможно представить в виде изображения цветовой модели *RGB*, чем обычно исчерпываются возможности программного обеспечения общего назначения. В этой связи системы обработки ДДЗ оптимизированы для визуализации многозональных растров, оценки информативности различных зон, управления их отображением и др.

ДДЗ представляет собой пространственную, географически привязанную информацию, находящуюся в определенной системе координат. Следовательно, возникает картографо-геодезический аспект, связанный с изменением систем координат и картографических проекций материалов дистанционного зондирования, который отличает системы обработки ДДЗ.

С позиций функциональных особенностей систем обработки ДДЗ необходимо отметить следующие основные специализированные группы программных функций:

- предварительная обработка ДДЗ: геометрическая и радиометрическая коррекция, вырезка части изображения с сохранением координатной привязки, создание мозаик изображений и др.;
- поддержка специальных форматов данных систем дистанционного зондирования Земли;
- тематическая обработка ДДЗ: выполнение тематического дешифрирования изображений различными способами на основе различных алгоритмов, проведение постобработки тематических растров, анализ текущих изменений и т. д.;
- картометрические функции: определение площадей картографических объектов, их периметров, создание трехмерных моделей местности, определение высот объектов и др.

К наиболее распространенным в настоящее время системам обработки ДДЗ относят программные пакеты *Erdas Imagine*, *ENVI*, а также цифровую систему фотограмметрической обработки ДДЗ – *Photomod*.

Erdas Imagine. Представляет собой систему обработки ДДЗ, построенную по модульно-иерархическому принципу. Ядром системы является один из трех вариантов базовых пакетов: *Imagine Essentials*, *Imagine Advantage*, *Imagine Professional*. Каждый последующий пакет включает предыдущий и расширяет его функциональные возможности.

Система имеет удобный интерфейс с наличием пиктограммного меню, состав которого меняется в зависимости от загруженного программного модуля (рис. 4.8).

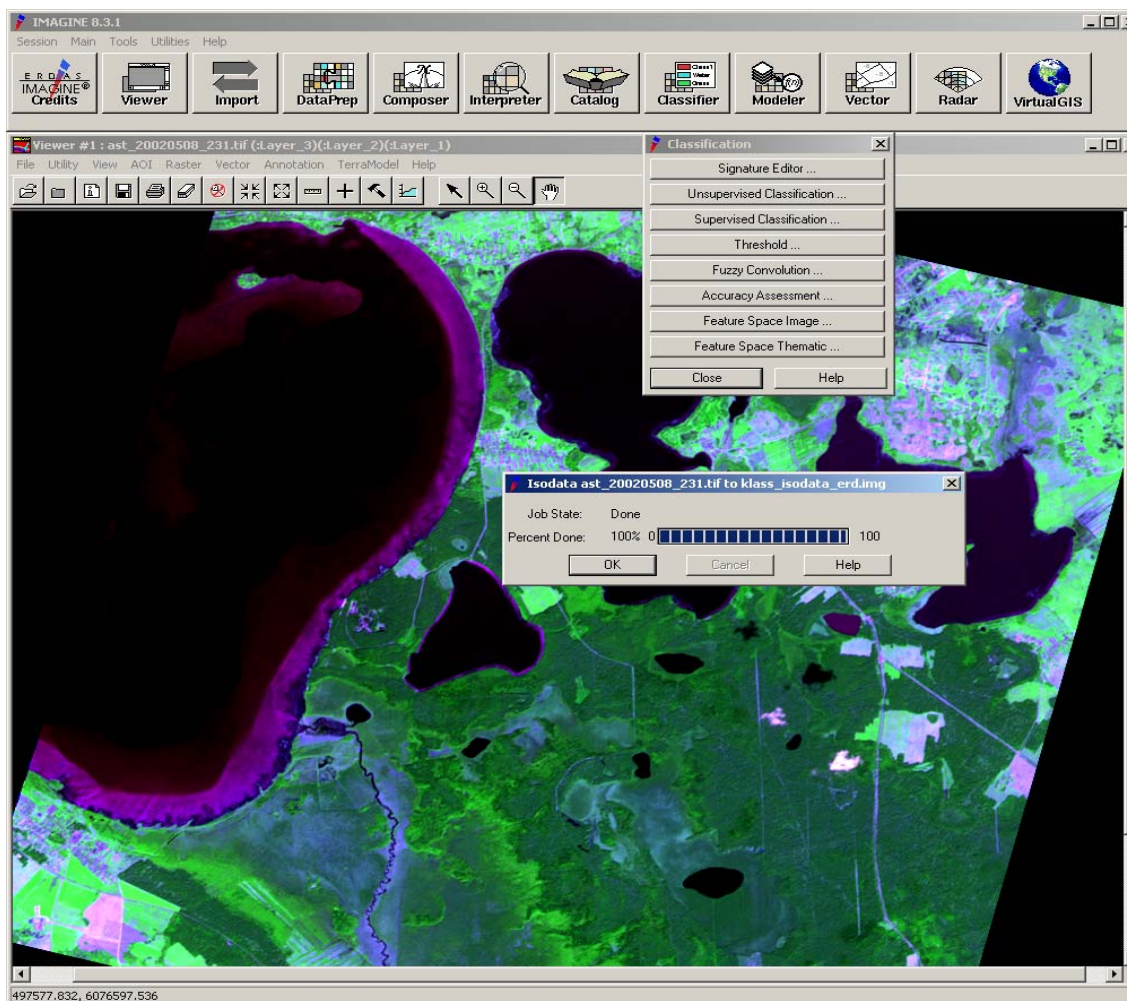


Рис. 4.8. Обработка космического снимка в ПО *Erdas Imagine*

При этом программа включает как базовые, так и дополнительные программные модули. Базовые программные модули обеспечивают базовые средства обработки данных, и к ним относят *Viewer*, *Import*, *Data Preparation*, *Classifier*, *Vector* и др.

Так программный модуль *Viewer* представляет собой основное средство визуализации данных, *Import* – преобразования (конвертации) форматов данных, а *Data Preparation* – предоставляет пользователю программные средства вырезания частей изображения, создания их мозаик, изменения картографических проекций, проведения геометрической коррекции ДДЗ и др.

Программный модуль *Classifier* включает функции тематического дешифрирования ДДЗ на основе использования алгоритмов контролируемой, неконтролируемой классификации, и использования специальных методов нейронных сетей и баз знаний, а также проведения

постклассификационной обработки тематических растров. Модуль *Vector* содержит программные функции обработки векторных данных.

Дополнительные программные модули обеспечивают специальные средства обработки данных и требуют дополнительной установки.

Среди наиболее часто используемых дополнительных программных модулей следует выделить модуль обработки радиолокационных данных (*Radar Mapping Suite*), субпиксельной классификации (*Subpixel Classifier*), создания стереомodelей местности (*Stereo Analyst*), а также геоинформационного анализа данных (*VirtualGIS*).

Система позволяет разрабатывать пользовательские приложения с использованием встроенного макроязыка *EML*.

ENVI. Назначение системы – визуализация и обработка ДДЗ, включающая анализ мульти- и гиперспектральных снимков, коррекцию геометрических и радиометрических искажений, интерактивное улучшение изображений и их пространственную привязку, создание цифровых моделей местности, выполнение тематического дешифрирования ДДЗ с использованием различных методов и алгоритмов, обработка радиолокационных данных и др.

Программный интерфейс системы *ENVI* включает три взаимосвязанных диалоговых окна: *Image* – окно работы с изображением (имеет головное меню), *Scroll* – окно прокрутки изображения, *Zoom* – окно увеличения фрагмента изображения (рис. 4.9).

В отличие от системы *Erdas Imagine*, *ENVI* не имеет пиктограммного меню, что затрудняет работу пользователя.

Программный комплекс *ENVI* написан на языке программирования *IDL*, который позволяет создавать собственные алгоритмы обработки данных, а также предоставляет пользователю возможность индивидуальной настройки программного пакета и модификацию пользовательского интерфейса.

К достоинствам системы обработки ДДЗ *ENVI* относят следующие [3]:

- широкий выбор форматов входных и выходных данных;
- отсутствие ограничений по размеру обрабатываемых изображений;
- возможность автоматической и ручной векторизации растровых данных;
- динамический доступ к данным ГИС и СУБД;
- простота обработки гиперспектральных снимков;
- наличие инструментов, позволяющих автоматизировать и сделать максимально удобной для пользователя комплексную обработку и анализ изображений.



Рис. 4.9. Обработка космического снимка в ПО *ENVI*

Photomod. Данный программный комплекс представляет собой цифровую фотограмметрическую систему, основным назначением которой является многофункциональная фотограмметрическая обработка стереоизображений. Фотограмметрическая обработка подразумевает процесс определения формы, размеров и пространственного положения объектов в заданной координатной системе по их фотографическим и иным изображениям. Система предназначена в первую очередь для проведения высокоточных измерений по трехмерным стереомоделям местности, создания цифровых моделей рельефа, автоматического расчета и визуализации горизонталей, стереоскопической визуализации

ции, создания векторных карт на основе визуального дешифрирования объектов местности по трехмерным стереомоделям местности.

Для обеспечения работы в стереорежиме в системе *Photomod* используется два способа стереоскопической визуализации: цветной анаглифический (очки со светофильтрами), позволяющий выводить на печать стереоскопические изображения, а также использование стереоочков с *LCD*-затворами.

Система построена по модульному принципу и включает 10 основных модулей, обеспечивающих управление проектами и просмотр данных, уравнивание фототриангуляционных сетей, создание цифровых моделей рельефа, проведение стереодешифрирования и др.

В качестве исходных данных для фотограмметрической обработки используются данные космической съемки высокого и сверхвысокого разрешений, выполняющих съемку в стереорежиме, а также материалы аэрофотосъемки.

Программное обеспечение геоинформационных систем, векторизаторов и систем обработки ДДЗ постоянно совершенствуется, дополняется новыми инструментальными средствами и функциональными возможностями.

5. ОРГАНИЗАЦИЯ ДАННЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ТУРИЗМЕ

5.1. Источники данных геоинформационных систем в экологическом туризме

В условиях Республики Беларусь, как правило, большинство действующих и потенциальных объектов экологического туризма сосредоточены на землях государственного лесного фонда – прежде всего на территориях Национальных парков и заповедников. С целью получения информации, характеризующих данные объекты, предусмотрен комплекс мероприятий: лесоустройство, охотустройство и различные специальные обследования территорий. При этом основным мероприятием, в результате которого получают атрибутивную базу данных и цифровые карты земель лесного фонда, является лесоустройство.

Лесоустройство – это система лесоучетных, исследовательских, изыскательных и проектных мероприятий, направленных на рациональное лесопользование, лесовозобновление, повышение продуктивности лесов, их охрану и сохранение, внедрение в практику лесного хозяйства прогрессивных форм ее ведения в рамках единой научно-технической политики [10].

Как правило, совокупность таких работ выполняется на государственном уровне специальными проектно-изыскательными организациями, которые также называют лесоустроительными. В Республике Беларусь функцию такой специализированной проектно-изыскательской организации выполняет республиканское унитарное предприятие (РУП) «Белгослес», включающее минскую, витебскую и гомельские экспедиции, которые, в свою очередь, делятся на лесоустроительные партии. Помимо лесоустроительных экспедиций и партий в структуру лесоустроительной организации включается ряд вспомогательных служб: информационно-вычислительный центр, почвенная и лесопатологическая партия, отдел дистанционного зондирования и мониторинга лесов, отдел геоинформационных технологий и картографии и др.

Весь комплекс лесоустроительных работ делят на три составляющие: подготовительные, полевые и камеральные. В процессе подгото-

вительных работ выполняют изучение и согласование с землеустроительной службой границ объекта лесоустройства, сбор таксационных, геодезических и планово-картографических материалов предыдущего лесоустройства, проведение аэрофотосъемки (космической) съемки объекта и др.

Полевые работы, в свою очередь, включают дешифрирование материалов аэрофотосъемки (космической съемки) с уточнением границ в натуре, проведение лесотаксационных работ с определением таксационных характеристик лесных насаждений, описанием непокрытых лесом, нелесных земель и назначением соответствующих хозяйственных мероприятий, а также различные съемочно-геодезические работы (при необходимости).

В результате дешифрирования на аэрофотоснимок (космический снимок) наносятся границы кварталов и выделов, их номера, дороги и другие объекты местности (рис. 5.1).



Рис. 5.1. Дешифрованный аэрофотоснимок

Под таксационным выделом понимается ограниченный участок земель государственного лесного фонда, однородный по таксационной характеристике, отличающейся от таксационных характеристик смежных участков на величину, предусмотренную нормативами, требующий проведения на всей площади одинаковых хозяйственных мероприятий [11]. Каждый таксационный выдел имеет собственную характеристику в атрибутивной базе данных, изображается на цифровых лесных картах и планово-картографических материалах.

Дешифрованные таким образом аэрофотоснимки служат основой для дальнейшего создания лесоустроительных планово-картографических материалов.

При проведении полевых лесотаксационных работ выполняют определение таксационных характеристик лесных насаждений, а также описание непокрытых лесом и нелесных земель лесного фонда. Полученные результаты заносят с использованием специальных шифров в специальный бланк – карточку таксации. Все показатели в карточке таксации разбиваются на ряд макетов: «Местонахождение таксационного выдела», «Проектирование хозяйственных мероприятий», «Лесорастительные условия», «Захламленность и сухостой», «Таксационная характеристика древостоя», «Подрост», «Подлесок».

При проведении камеральных работ осуществляется обработка данных полевых обследований и формирование выходных лесоустроительных документов. На основе заполненных в процессе лесотаксационных работ карточек таксации создается атрибутивная повыведельная база данных объекта лесоустройства, которая в дальнейшем конвертируется в необходимые ГИС-форматы.

Среди основных документов, формируемых в результате лесоустройства, необходимо выделить: проект организации и ведения лесного хозяйства на ревизионный период (10 лет); таксационные описания и формы учета лесного фонда; проектные ведомости, содержащие объемные показатели главного и промежуточного пользования, лесовосстановления и других лесохозяйственных мероприятий. Важной группой документов, создаваемых в результате лесоустройства, являются планово-картографические материалы. Выделяют три основных группы лесных планово-картографических материалов: планшеты, планы и карто-схемы.

Планшеты представляют собой планы групп лесных кварталов, на которых показываются квартальные просеки, границы выделов, дороги, объекты гидрографии, категории защитности лесных насаждений, приводятся подписи землепользователей, географических названий, кварталов и выделов, а также их площади (рис. 5.2). Для условий Республики Беларусь планшеты составляются в масштабе 1:10 000.

Планы в цвете показывают распределение земель лесного фонда по различным показателям и составляются на территории отдельных лесничеств в масштабе 1:25 000. Наиболее часто составляются планы лесных насаждений, которые показывают преобладающие древесные породы и их группы возраста (рис. 5.3), запроектированных хозяйственных мероприятий, ягодников, лекарственного и технического сырья, эксплуатационного фонда и др.

Карто-схемы составляют, как правило, в масштабе 1:100 000 на территорию лесхоза (Национального парка) в целом. Подобно планам лесничеств карто-схемы составляют по преобладающим породам, противопожарным мероприятиям, а также их неокрашенный вариант. В отличие от планов, на карто-схемах не показывают границ выделов, их нумерацию и площади.

Создание цифровых лесных карт, а также твердых копий планово-картографических материалов в настоящее время в Республике Беларусь осуществляется на основе специализированной системы автоматизированного лесного картографирования *Formod*, функционирующей в информационно-вычислительном центре РУП «Белгослес».

Основным назначением программного комплекса *Formod* является создание цифровых лесных карт в векторном формате данных (формирование цифровых моделей лесохозяйственных объектов) и подготовка на их основе цифровых издательских оригиналов лесных планово-картографических материалов всех видов. В соответствии с этим, технология производства работ включает два основных этапа: создание цифровых лесных карт и формирование цифровых издательских оригиналов лесных планово-картографических материалов.

При создании векторных цифровых карт выделяют следующие основные виды работ: подготовительные, сканирование исходных материалов, дешифрирование аэрофотоснимков, координатная привязка растровых изображений аэрофотоснимков и топографических карт, векторизация границ лесохозяйственных объектов, расчет и уравнивание площадей.

Подготовительные работы предусматривают подбор исходных материалов и данных на территорию проведения работ. В качестве основных исходных материалов при создании векторных лесных карт используются аэрофотоснимки (космические снимки), топографические карты, а также лесоустроительные планшеты прошлого лесоустройства. Вспомогательными материалами являются землеустроительные планы границ земель, каталоги поворотных точек границ лесохозяйственных объектов, фотопланы и ранее изготовленные лесные карты.

Сканирование аэрофотоснимков и топографических карт выполняется на фотограмметрическом сканере с разрешением, позволяющим сохранить точность исходных картографических материалов 0,1 мм для карт и планов и 0,02 мм – для аэрофотоснимков и аэронегативов.

При дешифрировании на аэрофотоснимке выделяют границы лесохозяйственных объектов. При этом дешифрирование может выпол-

няться, как аналогового аэрофотоснимка, с использованием специального прибора для получения стереомодели местности – зеркального стереоскопа, так и цифрового снимка, с использованием цифровой фотограмметрической станции (*Photomod*).

Растровые изображения топографических карт и аэрофотоснимков, полученные в результате сканирования, привязывают к системе координат. При этом топографические карты привязываются на основании координат контрольных точек, обозначенных непосредственно на самой карте – по углам карты и в центре. Координатная привязка материалов аэрофотосъемки выполняется на основе контрольных точек, которые могут быть идентифицированы как на аэрофотоснимке, так и на топографической карте. В качестве таких точек используются пересечения квартальных просек, перекрестки дорог, выдающиеся местные предметы и др. Координатная привязка осуществляется путем трансформирования растрового изображения с аффинным преобразованием исходных координат таким образом, чтобы они соответствовали заданной системе координат (проекция Гаусса – Крюгера в системе координат 1942 года).

Процесс векторизации предусматривает послойное создание векторных объектов в автоматизированном режиме с использованием программы-векторизатора *EasyTrace*. При этом формируются следующие основные картографические слои векторных лесных карт: кварталы, таксационные выдела, лесные дороги, грунтовые и проселочные дороги, автомагистрали, населенные пункты, реки и озера, ручьи и каналы, административные границы, границы лесничеств и лесхоза, подписи географических названий и смежных землепользователей. Также в процессе векторизации заполняются таблицы атрибутивных данных ряда картографических слоев. Так, для слоя населенных пунктов указываются их названия, для кварталов и таксационных выделов – номера. После создания векторных слоев данных вычисляются площади лесных кварталов и выделов с их уравниванием в пределах общей площади объекта лесоустройства по данным землеустроительной службы. Рассчитанные и уравненные площади заносятся в таблицы атрибутивных данных.

Создание цифровых издательских оригиналов лесных планово-картографических материалов предусматривает работы, связанные с формированием рамки и зарамочного оформления планово-картографической продукции, выбор определенных картографических слоев и настройка параметров их отображения для того или иного вида планово-картографических материалов, создание подписей картографических объектов, формирование легенды и экспликации земель,

разбивка большеформатных планово-картографических материалов на отдельные фрагменты и их печать.

С программной точки зрения комплекс *Formod* построен на специализированном программном обеспечении, предназначенном для решения различных задач и совместимом на уровне форматов входных и выходных данных:

- цифровая фотограмметрическая станция *Photomod* – дешифрирование материалов аэрофотосъемки;
- программа трансформирования изображений *GeoTransformer* – координатная привязка растровых изображений топографических карт и аэрофотоснимков;
- векторизатор *EasyTrace* – создание векторных картографических слоев данных;
- полнофункциональная геоинформационная система *MapInfo* – формирование цифровых издательских оригиналов лесных планово-картографических материалов;
- СУБД *Ms Access* – хранение и обработка атрибутивных данных, необходимых для формирования тематических карт (планов лесных насаждений, хозяйственных мероприятий и др.).

Информацию, характеризующую охотничью фауну объектов экологического туризма получают в процессе проведения охотустройства. В процессе охотустроительных работ выполняют инвентаризацию и оценку охотничьих угодий, определение их границ, зонирование территории лесохозяйственных хозяйств, учет видов охотничьей фауны, проектирование мероприятий по их рациональному использованию. В результате создается проект организации и ведения охотничьего хозяйства, а также ряд специальных планово-картографических материалов: планы биотехнических мероприятий, мест концентрации охотничьих животных, типов угодий и др.

Получение различного рода специализированных данных, характеризующих объекты экологического туризма, возможно при проведении специальных обследований территорий.

Специальные обследования могут иметь очень разнообразную тематику. К наиболее распространенным в Республике Беларусь видам специальных обследований лесных территорий относят лесопатологическое обследование лесов, лесной мониторинг, почвенно-типологические обследования земель лесного фонда. Однако в настоящее время достаточно часто проводят специальные обследования по оценке биоразнообразия земель лесхозов и Национальных парков, выявлению и оценке высоковозрастных лесов, проведению оценок

степени антропогенного воздействия и рекреационных нагрузок на отдельные территории природных комплексов Национальных парков, выявлению объектов экологического туризма и разработки соответствующих туристических маршрутов и др.

Таким образом, в результате вышеперечисленных мероприятий получают ряд атрибутивных и пространственных данных, которые могут использоваться в ГИС для их дальнейшего анализа и выработки управленческих решений. При этом атрибутивные данные, содержащие количественные и качественные описания картографических объектов, получают, чаще всего, путем непосредственных полевых обследований. Пространственные данные могут быть получены из разных источников. Выделяют следующие источники получения пространственных данных ГИС: карты и планы, данные дистанционного зондирования Земли (материалы аэрофотосъемки и космической съемки), данные систем глобального позиционирования, другие источники данных (каталоги координат, данные геодезических измерений). Кроме того, интеграция ГИС и технологий интернет, наблюдающаяся в настоящее время, привела к появлению дополнительных источников пространственных данных – геоинформационных порталов и интерактивных картографических интернет-сервисов (*Google Maps*, Яндекс Карты и др.)

5.2. Ввод данных в геоинформационные системы

Практическая значимость и функциональные возможности любой геоинформационной системы во многом определяются актуальностью, полнотой и корректностью содержащихся в ней пространственных и атрибутивных данных. В этой связи процесс ввода и поддержки данных ГИС в актуальном состоянии является весьма важным с точки зрения обеспечения эффективности функционирования геоинформационной системы в целом.

Внесение атрибутивных данных в ГИС предусматривает, как правило, ввод с клавиатуры или конвертацию из внешних баз данных в структуру и формат, необходимый для использования в ГИС.

Технологии ввода в ГИС пространственных данных зависят в первую очередь от их источника и необходимой модели данных.

Ввод растровых пространственных данных в ГИС с аналоговой (бумажной) карты осуществляется с помощью сканирования.

При всем современном многообразии, всего выделяют четыре типа сканеров: ручной, планшетный, протяжной и барабанный.

Ручной сканер представляет собой линейку светочувствительных элементов и источник света, помещенные в один корпус. Перемещение сканирующего механизма вдоль оригинала производится вручную. Если сканируемая страница превышает размер сканирующего механизма, то процесс выполняется в несколько этапов с последующим программным совмещением полученных полос изображения. В связи с низкой точностью получаемого в процессе сканирования изображения, ручные сканеры при сканировании планово-картографических материалов не применяются.

В планшетном сканере сканируемый оригинал размещается на прозрачном неподвижном стекле (рис. 5.4, *а*). Вдоль него передвигается сканирующая каретка с источником света. Оптическая система планшетного сканера, состоящая из объектива и зеркал или призмы, проецирует световой поток от сканируемого оригинала на сканирующую головку, состоящую из трех параллельных линеек светочувствительных элементов. При этом каждая линейка принимает информацию об отдельном цвете: красном, зеленом, синем. В результате осуществляется разделение информации о цветах. В сканирующей головке уровни освещенности преобразуются в уровни напряжения (аналоговый сигнал), который после коррекции и обработки преобразуется в цифровой (двоичное представление) с помощью аналогово-цифрового преобразователя сканера. Далее цифровой сигнал после обработки на контроллере сканера поступает на компьютер, где данные преобразуются в изображение под управлением драйвера устройства. При сканировании прозрачного оригинала (например, аэронегатива) используется слайд-модуль – крышка, в которой параллельно сканирующей каретке используется второй источник света. Планшетные сканеры используются, как правило, для сканирования планово-картографических материалов небольших форматов или частей большеформатных планов и карт, материалов аэрофотосъемки и аэронегативов.

В сканерах с протяжкой листа линейка светочувствительных элементов остается неподвижной, а сканируемый оригинал перемещается с помощью специального механизма подачи (рис. 5.4, *б*). Данный тип сканеров предназначен, в первую очередь, для сканирования большеформатных оригиналов.

В сканерах барабанного типа сканируемый оригинал закрепляется на поверхности прозрачного цилиндра, который вращается с высокой скоростью (порядка 1000 об./мин). Сканирование производится перемещением объектива вдоль вращающегося барабана. Использование галогенного источника света, световой поток от которого концентрируется на точечной области барабана, позволяет исключить влияние помех и обрабатывать весь спектр сканируемого оригинала с высоким

качеством. Барабанные сканеры позволяют получать изображения наиболее высокого качества.



а



б



в

Рис. 5.4. Типы сканеров:
а – планшетный; *б* – протяжной; *в* – барабанный

Следует помнить, что геоинформационные системы работают с координированной графической информацией. В этой связи после сканирования осуществляется координатная привязка полученных растровых изображений.

Регистрация изображения в системе координат обеспечивает проведение картометрических функций и возможность вывода картографической информации в требуемом масштабе, что невозможно, если изображение не находится в координатной системе.

Координатная привязка осуществляется на основе трансформирования растровых или векторных изображений. *Трансформирование – операция перехода от одной системы координат или картографической проекции к другой путем эластичного преобразования на основе интерполяции или аппроксимации по сети контрольных точек с использованием полиномиальных функций.*

Выполнение координатной привязки осуществляется на основе вспомогательного картографического слоя, который уже находится в требуемой системе координат и может быть получен разными методами: созданием опорной сети по координатам, взятым с топографической карты; с использованием средств глобального позиционирования или использование материалов космической съемки или ранее привязанных векторных слоев данных.

Привязка изображений к системе координат проводится на основе ГИС-пакетов или с использованием специальных программных средств (например, *GeoTransformer*). При проведении координатной привязки, как правило, выделяют следующие этапы:

- локализация контрольных точек;
- выбор способа трансформирования;
- расчет ошибок и оценка результатов трансформирования;
- переопределение координат пикселей и создание выходного файла изображения.

Локализация контрольных точек (*GCP – ground control point*) предусматривает идентификацию пунктов, которые должны быть опознаны как на привязываемом изображении, так и на эталонном картографическом слое, к которому осуществляется привязка (рис. 5.5). В качестве таковых пунктов используются четко просматриваемые объекты местности: пересечения квартальных просек, дорог, каналов, характерные объекты ситуации (отдельно стоящие деревья, поворотные точки границ сельхозугодий и др.).

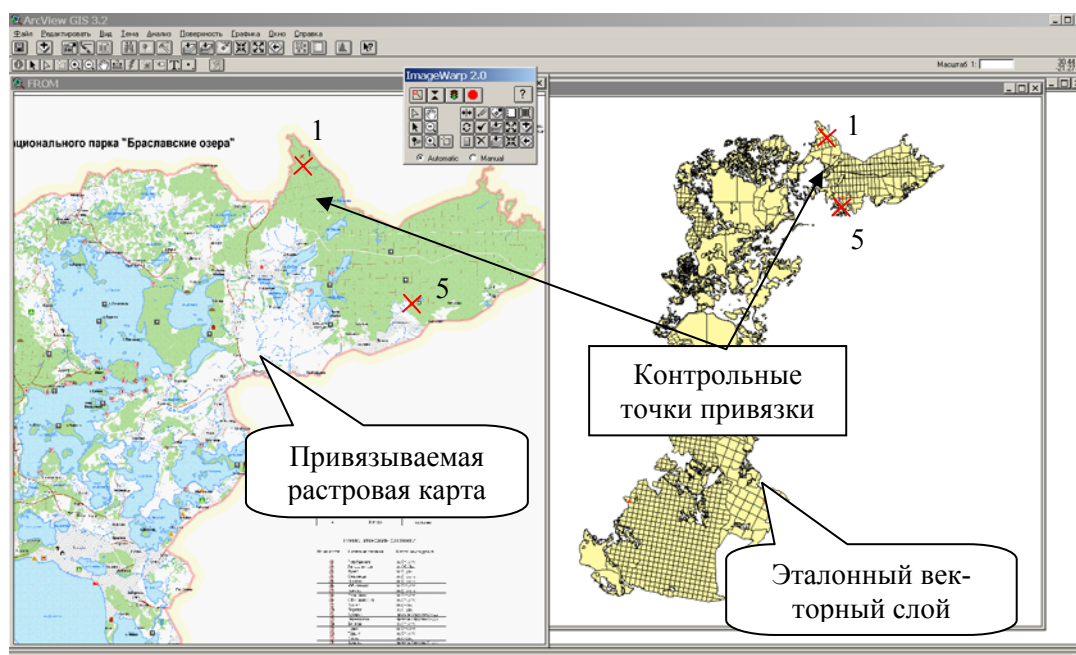


Рис. 5.5. Локализация контрольных точек при проведении координатной привязки

Способ трансформирования определяется степенью полиномиального уравнения, используемого для пересчета координат вершин объектов. Выбор степени полинома зависит от характера искажения изображения, числа используемых контрольных точек и их расположения относительно друг друга. Обычно для трансформирования карт используют полиномы не выше третьей степени, которые позволяют выполнить линейные (аффинные) и нелинейные преобразования координат.

Аффинные (линейные) способы трансформирования предназначены для осуществления операций параллельного переноса, изменения масштаба, поворота, зеркального отражения или их сочетаний. Их можно использовать для проецирования исходных изображений в заданную картографическую проекцию и преобразования проекций. Аффинные преобразования выполняют с помощью полиномов первой степени с шестью неизвестными коэффициентами по три для каждой координаты x и y :

$$u = a_1 + a_2x + a_3y; \quad (5.1)$$

$$v = b_1 + b_2x + b_3y \quad (5.2)$$

где u, v – координаты пикселей изображения до преобразования в исходной системе координат; x, y – координаты пикселей изображения после преобразования в эталонной системе координат.

Нелинейные методы трансформирования реализуются полиномами второй и выше степени. Полиномы второй степени можно использовать для трансформирования изображений больших территорий с учетом кривизны земной поверхности, в случае искажения данных, а также для преобразования географических координат в прямоугольную систему. Полиномы третьей степени используют в случаях очень больших искажений.

Полиномиальные уравнения n -ой степени для выполнения трансформирования имеют следующую форму:

$$u = a_1 + a_2x + a_3y + a_4x^2 + a_5y^2 + a_6xy + \dots + a_my^n; \quad (5.3)$$

$$v = b_1 + b_2x + b_3y + b_4x^2 + b_5y^2 + b_6xy + \dots + b_my^n, \quad (5.4)$$

где a_m, b_m – коэффициенты полиномов; n – степень полиномов.

Для нахождения коэффициентов полиномов в программном обеспечении, где выполняется координатная привязка, автоматически решается соответствующая система уравнений на основании координат контрольных точек, которые были заданы оператором.

После определения полиномиального уравнения, по которому будут пересчитываться координаты пикселей изображения, рассчитывается среднеквадратическая ошибка координатной привязки и принимается решение о ее допустимости. Для расчета среднеквадратической ошибки координатной привязки используются полученные полиномиальные уравнения, а также координаты контрольных точек, на основании которых программа решает уравнение:

$$D_k = \sqrt{(u_1 - u)^2 + (v_1 - v)^2}, \quad (5.5)$$

где u_1, v_1 – координаты контрольной точки, полученные в соответствии с полиномиальным уравнением (5.1) – (5.4); u, v – истинные координаты контрольной точки.

Общая среднеквадратическая ошибка координатной привязки растровой карты находится как среднеарифметическая величина из ошибок всех контрольных точек. При этом среднеквадратическая ошибка выражается в единицах координат исходного изображения.

Если полученная величина ошибки удовлетворительна, выполняются трансформирование всего изображения путем пересчета координат всех его пикселей. В результате формируется новый файл изображения и, как правило, дополнительный текстовый файл привязки (мировой файл), содержащий параметры координатной привязки для данного растрового изображения.

При создании пространственных данных ГИС наиболее трудоемким является случай ввода векторной модели данных с бумажной или растровой карты. В зависимости от используемых исходных данных выделяют два метода создания векторных моделей:

- векторизация по растру;
- векторизация с помощью дигитайзера.

Векторизация по растру предполагает использование растрового изображения в качестве подложки для создания векторных объектов. Создание векторных объектов осуществляется с использованием специальных программных функций векторизатора с помощью манипулятора мыши. В данном случае бумажная карта, на основании которой создается векторная модель, должна быть вначале отсканирована и привязана к необходимой системе координат.

Выделяют три способа векторизации:

- ручная векторизация в диалоговом режиме. При этом способе оператор вручную с помощью мыши или пера дигитайзера выполняет создание векторных объектов поверх растрового слоя или бумажной карты;

- интерактивная (автоматизированная) векторизация. С помощью специальных программ оператор создает векторную карту в диалоговом режиме. При этом программа на простых участках сама распознает линии, а на пересечениях, обрывах, утолщениях растра требует указаний оператора;

- автоматическая векторизация. Программа векторизатора самостоятельно преобразует все растровые изображения, которые в состоянии распознать, с помощью заданных оператором параметров. Оставшиеся нераспознанными части растрового изображения вручную обрабатываются оператором.

Ручная векторизация есть практически во всех ГИС-программах и применима для работы с растрами любой загруженности и качества. Интерактивная векторизация реализована в специальных программах – векторизаторах и выгодна при работе с растровыми изображениями средней и малой сложности. Программы автоматической векторизации входят, как правило, в состав мощных профессиональных комплексов и применимы для работы с растрами малой сложности и с расчлененными картматериалами (карты, разделенные на отдельные листы по цвету изображений – рельеф, гидрография, антропогенные объекты и контуры растительности, заливка площадей растительности и пр.). Кроме того, автоматическая векторизация применяется при создании векторных карт по результатам тематического дешиф-

рирования (классификации) материалов космической съемки. В данном случае векторизация выполняется в специальных программных пакетах по обработке ДДЗ и программа формирует векторную карту, дуги в которой повторяют пиксели изображения. В результате формируется векторная карта, объекты в которой имеют характерную «пильчатую» границу.

Метод векторизации с помощью дигитайзера позволяет создавать векторную модель местности непосредственно по бумажной карте способом ручной векторизации с использованием специального устройства – дигитайзера, подключаемого к компьютеру (рис. 5.6).

Дигитайзер представляет собой стол, в котором размещена сетка проводников, используемая для определения место положения курсора (пера), представляющего собой устройство подобное мыши, на котором размещены кнопки, позволяющие указывать начало о конец линии, ее вершины, границы полигональных объектов, местоположение точечных и т. д. Количество кнопок на курсоре зависит от модели дигитайзера, а вызываемые ими программные функции определяются управляющей программой – драйвером и программным обеспечением векторизатора или геоинформационной системы. Курсор имеет перекрестие, нанесенное на прозрачную пластину, которое позволяет оператору точно позиционировать его на отдельных элементах карты.

Рабочая поверхность дигитайзера может быть гибкой или жесткой, размерами от книжной страницы до формата А0.



Рис. 5.6. Дигитайзер

Современные картографические дигитайзеры обеспечивают разрешение порядка 0,03 мм с общей точностью около 0,08 мм на площади $1 \times 1,5$ м, что позволяет создавать векторные модели гораздо более точные, чем при векторизации по растру [1]. Однако, использование дигитайзеров при создании векторных моделей карт широкое распространение в настоящее время не получило. Это обуславливается, во-первых, более значительными трудозатратами по сравнению с использованием растровых изображений, а во-вторых – большой популярностью в качестве основы векторизации ДДЗ, которые, в большинстве своем, поступают уже в цифровом растровом виде. Вместе с тем дигитайзеры незаменимы при создании опорной сети для координатной привязки картографических слоев или векторизации объектов с повышенной точностью.

Векторные данные могут вводиться в геоинформационную систему также и с использованием специальных средств глобального позиционирования по результатам проведения съемки (п. 5.3).

Особое внимание при вводе объектов векторной графики в геоинформационную систему уделяют контролю корректности создаваемой векторной модели и недопущению ошибок: перекрытий между полигональными объектами или наличия зазоров между ними, несовмещенных объектов разных картографических слоев, висящих узлов и несовпадение вершин смежных объектов.

5.3. Использование систем глобального позиционирования в геоинформационных системах

Географические информационные системы оперируют координированными пространственно-временными данными, а современные технологии определения координат пунктов местности сводятся, главным образом, к использованию систем глобального позиционирования. Интегрированное использование геоинформационных технологий и систем глобального позиционирования позволяет решать ряд практических задач: получение координат контрольных точек с целью координатной привязки пространственных данных; ввод пространственной информации в ГИС на основе технологий *GPS*-съемки; навигация на местности; вынос в натуру проектируемых туристических маршрутов и иных объектов; контроль за движущимися объектами и многое другое. Эффективная эксплуатация геоинформационных систем в настоящее время не мыслится без использования систем глобального позиционирования.

Системы глобального позиционирования – технологические комплексы, предназначенные для нахождения координат пунктов в трехмерном земном пространстве путем измерения псевдодальности от приемника до спутников (не менее четырех) способами автономного или дифференциального позиционирования в статическом или кинематическом режиме.

В околоземном пространстве развернута сеть искусственных спутников Земли, равномерно распределенных по земной поверхности. Орбиты спутников и траектории их движения вычисляются с очень высокой точностью, поэтому в любой момент времени известны координаты каждого спутника. На всех спутниках установлены солнечные батареи питания, двигатели корректировки орбит, атомные эталоны частоты-времени, аппаратура для приема и передачи радиосигналов. Радиопередатчики спутников непрерывно излучают сигналы в направлении Земли, которые принимаются приемником, находящемся в некоторой точке земной поверхности, координаты которой нужно определить. В приемнике измеряется время распространения сигнала от спутников до приемника, на основании которого рассчитываются расстояния (псевдодальности) до соответствующих спутников. Получив сигнал и определив псевдодальности до 4-х (или более) спутников, *GPS*-приемник определяет точку пересечения соответствующих сфер распространения сигналов от спутников (рис. 5.7). При этом для определения координат приемник должен получить сигнал минимум от четырех спутников, а большее количество наблюдаемых спутников увеличивает точность определения координат.

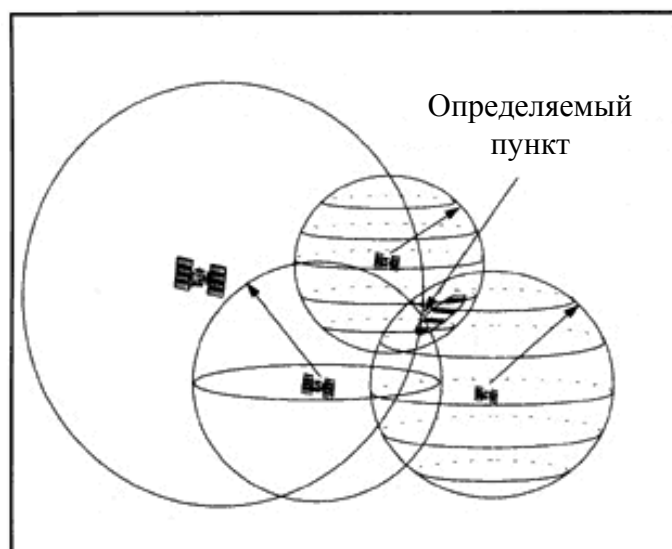


Рис. 5.7. Определение координат пункта по измеренным расстояниям

Выделяют два метода определения расстояний до спутников: кодовый и фазовый. При кодовом методе измерения псевдодальностей используются дальномерные коды, представляющие собой последовательности двух состояний сигналов, обозначаемые символами 0 и 1. Таким образом, код представляет собой некоторую периодически повторяющуюся комбинацию нулей и единиц. На спутнике и в приемнике одновременно генерируются одинаковые коды, т. е. код в приемнике представляет собой копию кода спутника. Принятый в приемнике код спутника запаздывает по отношению к коду самого приемника на время, пропорциональное проеденному им расстоянию. В этой связи коды спутника и приемника (т. е. последовательность нулей и единиц) не совпадают. Время распространения сигнала от приемника до спутника определяют по продолжительности задержки кода приемника до обнаружения его совпадения с кодом, принятым со спутника (рис. 5.8). Соответственно, чем задержка кода продолжительнее, тем большее расстояние до спутника.

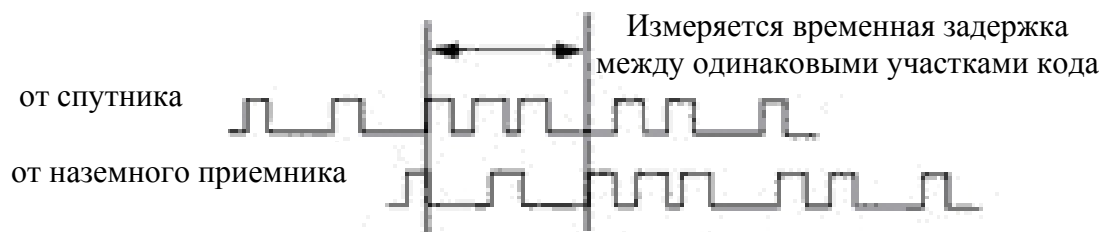


Рис. 5.8. Кодовые измерения расстояний

Фазовым методом выполняют наиболее точные измерения расстояний. Метод основан на том, что фаза синусоидального колебания радиосигнала, получаемого со спутника, изменяется пропорционально времени. По истечении каждого периода она меняется на один цикл. В приемнике фаза принятой со спутника волны отличается от фазы колебаний сигнала, генерируемого самим приемником, на величину, пропорциональную расстоянию от спутника до приемника. Таким образом, в приемнике определяется разность фаз колебаний радиосигнала со спутника и собственного сигнала приемника, которая состоит из некоторого целого числа циклов и дробной части.

При фазовом методе измерений возникает сложная проблема разрешения неоднозначности. Неоднозначность фазовых измерений обусловлена отсутствием технической возможности счета целого числа уложений длины волны в измеряемом расстоянии и необходимостью дополнительных усилий для определения однозначных дальностей [3]. Как правило, для фазовых измерений требуется приблизительно знать измеряемое расстояние.

Также спутники передают навигационные сообщения, которые содержат данные о точных их координатах, информацию о параметрах атмосферы, орбит и др.

В общей структуре систем глобального позиционирования выделяют три сегмента:

- космический сегмент;
- сегмент управления;
- аппаратура потребителей.

Космический сегмент представляет собой созвездие искусственных спутников Земли, равномерно размещенных на орбитах в околоземном пространстве.

Сегмент управления включает сеть наземных станций слежения за космическими аппаратами. Наземные станции слежения осуществляют контроль за траекторией движения спутников и коррекцию их орбит, включают службу точного времени, а также выполняют загрузку данных на борт спутников. Собранную на станциях слежения информацию используют для прогнозирования координат спутников.

Расположение спутников на орбитах, их количество и высота, а также расположение и число наземных станций слежения зависят от вида конкретной системы глобального позиционирования

В настоящее время в мире существует две функционирующие глобальные системы позиционирования: *NAVSTAR GPS* (США) и ГЛОНАСС (РФ). Космический сегмент системы *NAVSTAR GPS* включает 30 навигационных спутников, состоящих в штатном использовании (на 2013 год), расположенных на 6 орбитальных плоскостях (рис. 5.9).



Рис. 5.9. Космический сегмент системы *NAVSTAR GPS*

Плоскости орбит наклонены под углом 55° к плоскости экватора. Высота орбит – порядка 20 180 км [12].

Передающая аппаратура спутников излучает синусоидальные сигналы на двух несущих частотах: $L_1 = 1\,575,42$ МГц и $L_2 = 1\,227,6$ МГц. Излучаемые сигналы кодируются двумя типами кодов: высокой и стандартной точности. Код высокой точности обозначается как *P*-код (*Precision* – точный), имеет значительную продолжительность и защищен от несанкционированного использования. Длительность одного символа данного кода составляет около 0,1 мкс. За это время радиосигнал проходит почти 30 м. Инструментальная погрешность определения псевдодальностей составляет несколько дециметров.

Код стандартной точности обозначается как *C/A* – код (*clear acquisition* – легко обнаруживаемый) и является доступным всем гражданским потребителям. Частота повторения символов в 10 раз меньше, чем у *P*-кода, поэтому длительность одного символа составляет около 1 мкс. За это время радиосигнал проходит почти 300 м. Инструментальная погрешность определения псевдодальности может составить несколько метров. Код высокой точности передается на частоте L_1 и L_2 , а код стандартной точности – только на частоте L_1 . При этом все спутники работают на одних и тех же частотах, но каждый имеет свой уникальный код, т. е. разделение сигналов, поступающих от разных спутников – кодовое.

Переломным моментом в истории использования системы *NAVSTAR GPS* в гражданских целях стала отмена 1 мая 2000 года режима селективного доступа (*SA – Selective Availability*) – искусственно вносимой в спутниковые сигналы погрешности для неточной работы гражданских *GPS*-приемников. После этого события с помощью недорогих приемников стало возможным определять координаты с точностью в несколько метров, а ранее погрешность составляла десятки метров. Это привело к широкому использованию системы *NAVSTAR GPS* в различных сферах деятельности человека. Однако режим селективного доступа может быть включен в любой момент при наличии угроз национальной безопасности США.

ГЛОНАСС (ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система) – российская система спутникового глобального позиционирования.

Орбитальная группировка ГЛОНАСС состоит из 24 спутников (по данным на 2013 год), расположенных в трех плоскостях (рис. 5.10). Орбиты наклонены под углом 63° к орбитальной плоскости, высота орбит составляет 19 400 км [12].

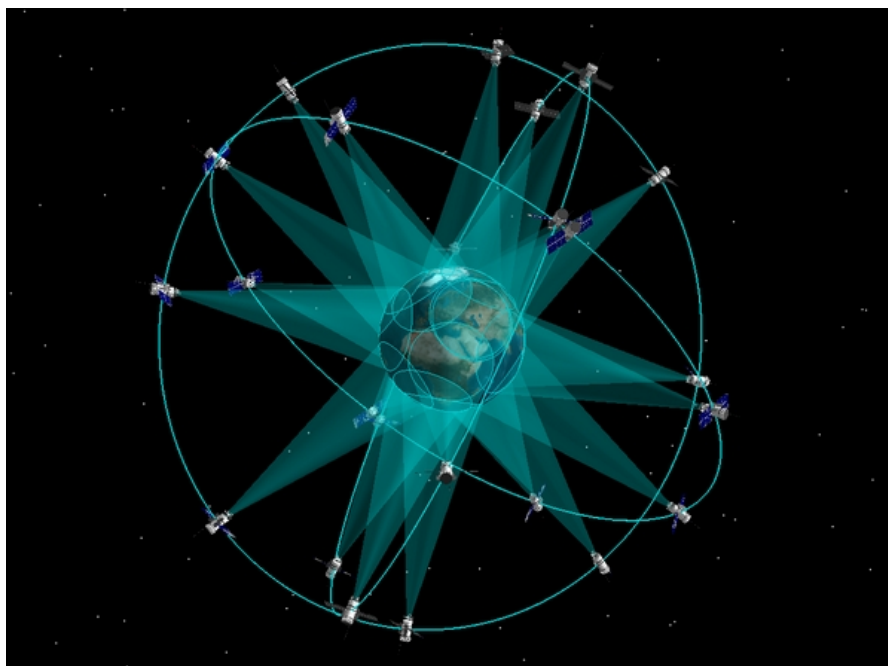


Рис. 5.10. Космический сегмент системы ГЛОНАСС

Спутники ГЛОНАСС непрерывно излучают сигналы двух типов: навигационный сигнал стандартной точности (СТ) в диапазоне $L_1 \approx 1,6$ ГГц и сигнал высокой точности в диапазоне как L_1 , так и $L_2 \approx 1,2$ ГГц. Таким образом, если в системе *NAVSTAR GPS* используются две конкретных частоты, то в ГЛОНАСС используется два диапазона частот. При этом каждый спутник системы имеет свою частоту, но одинаковый код. Таким образом, в отличие от системы *NAVSTAR GPS*, где разделение сигналов, поступающих на приемник от разных спутников, осуществляется по коду, в системе ГЛОНАСС разделение осуществляется по частоте (так называемое, частотное разделение сигналов). Данные, предоставляемые сигналом стандартной точности, доступны всем потребителям, а сигнал высокой точности используется, главным образом, в военных целях.

В 1999 году Европейский парламент поддержал решение Европейского космического агентства о создании нового поколения системы спутникового позиционирования. Система получила название *Galileo*. Планируется, что она будет включать 30 спутников, размещенных на трех орбитах высотой 23 600 км, и наклоном 56° . Первый экспериментальный спутник был запущен в 2005 году. Система *Galileo* будет совместима с *NAVSTAR GPS* и ГЛОНАСС, с учетом чего в распоряжении пользователей будет порядка 80 спутников глобального позиционирования. При комбинированном использовании спут-

ников систем *NAVSTAR GPS* и *Gallileo* ошибка определения координат пунктов местности для большинства регионов мира будет снижена до 1–3 м. В настоящее время система находится на этапе формирования спутниковой группировки.

Основным назначением систем глобального позиционирования является определение координат пунктов местности посредством позиционирования на них *GPS*-приемника. Выделяют два основных способа позиционирования:

- автономный;
- дифференциальный.

При автономном способе пользователь определяет координаты пункта местности одним приемником, и полученные значения координат принимаются за истинные. Расстояния до спутников определяются кодовым методом, а координаты пункта – пространственной линейной засечкой (рис. 5.7).

Способ автономного позиционирования достаточно прост, однако основным его недостатком является то, что он весьма чувствителен ко всем источникам погрешностей. На точность определения координат влияют нестабильность частот используемых электромагнитных колебаний, сдвиги шкал времени на спутниках и в приемниках, погрешности в координатах спутников, задержки радиосигналов в ионосфере и тропосфере. С целью ослабления влияния задержек радиосигналов спутников, их принимают только от космических аппаратов, находящихся не ниже $10 - 15^\circ$ над горизонтом. В этом случае задержки радиоволн в тропосфере обычно менее 10 м. Точность также снижается из-за явления многолучевости: в приемник приходят волны не только непосредственно от спутника, но и переотраженные от земной поверхности, древесного полога и других объектов местности. При кодовых измерениях погрешности из-за многолучевости сигнала могут исчисляться несколькими метрами. Весьма важным фактором точности определения координат пунктов является геометрическое расположение спутников. Данный фактор учитывается путем ввода специального коэффициента геометрического ухудшения точности *PDOP* (*Position Dilution Of Precision*). Коэффициент *PDOP* обратно пропорционален объему фигуры, которая будет образована, если провести единичные векторы от приемника к наблюдаемым спутникам. Большое значение *PDOP* свидетельствует о неудачном расположении спутников и большой величине ошибки. Так, при однократных измерениях точность определения координат при *PDOP* = 2 и менее оценивается предельной погрешностью $\pm 15-25$ м [3]. Типичное значение ко-

эфициента $PDOP$ при проведении измерений координат колеблется в пределах от 4 до 6.

При дифференциальном способе определения координат измерения выполняются минимум двумя GPS -приемниками. Один приемник устанавливают на пункт с известными координатами (геодезический пункт) и его называют *базовой станцией*. Другой приемник называют мобильным (или ровер) и используют непосредственно для определения координат пунктов местности. При этом базовая станция и мобильный приемник работают одновременно, и расстояние между ними допускается, как правило, не более 70 км.

Поскольку точные координаты пункта расположения базовой станции известны, то они используются для сравнения с координатами, определяемыми GPS -приемником, находящимся на данном пункте. Таким образом, разность истинных координат пункта и координат GPS -приемника базовой станции является *дифференциальной поправкой*. Поскольку расстояние между базовой станцией и мобильным приемником в сравнении с расстоянием до спутников невелико, условия приема сигнала считаются одинаковыми, и значения поправок, полученные на базовой станции, учитывают в координаты, получаемые мобильным GPS -приемником.

Существует несколько способов коррекции. При кодовых измерениях поправки могут вводиться, как в измеряемые псевдодальности, так и непосредственно в координаты. В первом случае все измеренные на базовой станции расстояния до спутников сравнивают с расстояниями, вычисленными по известным точным координатам спутника и базовой станции, и определяют их разности. Полученные таким образом дифференциальные поправки учитываются в псевдодальностях, определяемые мобильным приемником. Во втором случае базовая станция вычисляет разности между известными и определенными в автономном режиме координатами, и ими исправляются координаты на мобильном приемнике.

Выделяют два способа учета дифференциальных поправок: в режиме реального времени и в режиме постобработки. В первом случае поправки поступают на мобильный приемник непосредственно во время проведения съемки, и пользователь получает уравненные значения координат. При этом они могут передаваться по каналам радиосвязи или с использованием протоколов сотовой связи ($GPRS$). Учет дифференциальных поправок в режиме постобработки предусматривает использование специализированного программного обеспечения,

с помощью которого обрабатываются данные измерений как мобильного приемника, так и базовой станции.

В настоящее время в мире существует множество базовых станций и соответствующих служб, которые передают поправки в стандартном международном формате по радиоканалам, с использованием специальных спутников связи, а также глобальной сети интернет.

Помимо способов определения координат (автономный и дифференциальный) выделяют два режима проведения *GPS*-измерений:

- статический;
- кинематический.

В режиме статической съемки приемники не перемещаются с пунктов в течение всего интервала измерений. При использовании данного режима фазовый метод определения расстояний до спутников является основным, а кодовый – вспомогательным. При этом решается сложная проблема разрешения неоднозначности фазовых измерений и компенсации искажений в аппаратуре и на трассе распространения радиоволн. Приемник, находящийся на базовой станции, и мобильный приемник одновременно выполняют наблюдения и записывают данные в течение значительного временного интервала: 15 мин – 3 ч (чаще всего – около 1 ч). Такая длительность наблюдений необходима для накопления достаточного для статистической обработки количества измерений, что позволяет определять координаты пунктов с очень высокой точностью (до нескольких сантиметров). После завершения сеансов наблюдений данные, полученные базовой станцией и мобильным приемником, собираются вместе, вводятся в компьютер и обрабатываются с помощью специальных программ с целью определения координат неизвестных пунктов. Для повышения производительности и уменьшения времени наблюдений разработаны отдельные разновидности статического режима съемки – быстростатический и псевдостатический.

Используется режим статической съемки, главным образом, в геодезических измерениях.

При кинематическом режиме мобильный приемник либо переносится по пунктам местности, координаты которых требуется определить, либо перемещается на подвижной платформе: автомобиле, катере и др. При этом измерения складываются из двух этапов: инициализации и собственно измерений. Инициализация – процесс нахождения целого числа фаз колебаний с целью более точного определения координат начального пункта маршрута. С этой целью чаще всего выбирается опорный пункт (как правило, начальный пункт маршрута) и вы-

полняют наблюдения на базовой станции или статическим методом. После инициализации приемник перемещают на следующий определяемый пункт и находят разности координат между ним и опорной станцией, а, зная координаты опорной станции в приемнике, рассчитываются координаты определяемого пункта. Измерения ведут непрерывно и обязательно по тем же спутникам, по которым выполнена инициализация. Желательно, чтобы наблюдаемых спутников было не менее 5, точность определения координат в данном случае составит на уровне 3–5 см [3].

Различают следующие виды кинематических режимов: непрерывной кинематики, «стой-иди», с инициализацией «на ходу», кинематики реального времени.

Режим непрерывной кинематики позволяет «цифровать» контуры местности путем перемещения по ним приемника, который через заданные интервалы времени определяет и записывает в память свои координаты. После загрузки результатов такой съемки в ГИС формируется трек, который преобразуется в векторную линию. Режим «стой – иди» предусматривает короткие остановки на каждой поворотной точке маршрута с целью более точного определения их координат. Режим кинематической съемки с инициализацией «на ходу» не требует размещения мобильного приемника на базовой станции или определения координат опорного пункта статическим методом. Процедура инициализации выполняется непосредственно во время перемещения приемника по маршруту. При необходимости выполнить учет дифференциальных поправок в найденные мобильным приемником координаты, одновременно с их определением, можно с помощью кинематического режима реального времени (*RTK – Real Time Kinematics*). С этой целью используется два *GPS*-приемника. На приемнике, находящемся на опорном пункте (базовой станции), устанавливают радио- или *GPRS*-модем, который обеспечивает дополнительную цифровую связь с мобильным приемником, также снабженным соответствующим модемом и вычисляют необходимые поправки в результаты измерений, которые передаются на мобильный приемник. На мобильном приемнике выполняется обработка фазовых измерений, на основании которой рассчитываются приращения координат и координаты пунктов позиционирования.

Основу подсистемы аппаратуры потребителей составляют спутниковые приемники. Приемник принимает радиоволны, передаваемые спутниками, и сравнивает их с электрическими колебаниями, генерируемыми в самом приемнике. В результате определяется время рас-

пространения радиоволны, а затем и расстояние от приемника до спутников с помощью двух методов: кодового (стандартная точность) и фазового (наиболее точные измерения). Кроме этого, в приемник передается так называемое навигационное сообщение, несущее информацию, необходимую для определения координат.

В настоящее время создано и присутствует на рынке большое количество моделей *GPS*-приемников. Вместе с тем *GPS*-приемники принято классифицировать по нижеследующим параметрам.

– *По поддерживаемым спутниковым системам.* В соответствии с данным параметром все *GPS*-приемники делят на односистемные – ориентированные на прием сигналов со спутников только одной системы глобального позиционирования (ГЛОНАСС или *NAVSTAR GPS*) и двухсистемные – приемники, способные одновременно принимать сигналы как со спутников ГЛОНАСС, так и *GPS*. При этом использование спутниковых группировок двух систем позволяет увеличить количество видимых спутников и повысить точность определения координат примерно в 1,5 раза. Современные *GPS*-приемники являются многоканальными (6 каналов и более). Каждый канал следит за своим спутником. При проведении измерений проблемой является срыв спутниковых сигналов из-за ряда препятствий: рельеф, древесный полог, сооружения и др. Большое количество каналов позволяет преодолеть данные трудности.

– *По числу принимаемых частот.* Приемники делят на одночастотные и двухчастотные. Одночастотные способны принимать радиосигнал только на частоте L_1 , а двухчастотные – на двух частотах L_1, L_2 .

– *По принципу определения псевдодальностей.* Выделяют кодовые и фазово-кодовые. Кодовые приемники анализируют только дальномерный код, а фазово-кодовые – дополнительно проводят фазовые измерения псевдодальностей.

Кодовые приемники наиболее просты по конструкции, компактны, легки в использовании, определяют координаты в различных системах и картографических проекциях, способны накапливать и хранить результаты измерений, показывать маршрут на экране.

Фазово-кодовые приемники, как правило, оснащены выносной антенной, портами для интеграции с другим оборудованием, содержат расширенные настройки параметров определения координат (высота антенны, время съемки, атрибуты пункта и др.).

– *По назначению.* Приемники делят на геодезические, навигационные, автомобильные, военные и др.

Кроме того, к основным потребительским характеристикам *GPS*-приемников следует отнести точность определения координат пунктов местности, возможность загрузки цифровых карт пользователя наиболее распространенных форматов (например, шейп-файл) и поддержку атрибутивных данных.

5.4. Использование данных дистанционного зондирования в геоинформационных системах

Под дистанционным зондированием понимается процесс получения информации о свойствах объектов или явлений с помощью регистрирующего устройства, не имеющего с ними контакта. В геоинформационных системах используются данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ), к которым относят материалы космических и аэросъемок. ДДЗЗ – важнейший источник оперативной и актуальной информации о состоянии и объектах территории для тематических слоев ГИС.

Особую актуальность в настоящее время приобретают, прежде всего, материалы космической съемки. С одной стороны, это обусловлено повышением информативности космических снимков (улучшением пространственного разрешения, координатной привязкой, ведением съемки в нескольких областях спектра) и возможностью оперативного получения данных на значительные по площади территории, с другой – меньшими затратами на проведение съемочных работ (в сравнении с аэрофотосъемкой). Поскольку материалы космических съемок получают более оперативно, а традиционные топографические карты обновляются значительно более медленно, это приводит к появлению новых видов фотодокументов – когда на космические снимки высокого и сверхвысокого пространственного разрешения наносят подписи географических названий, населенных пунктов и других объектов инфраструктуры, заменяя таким образом традиционные планово-картографические материалы. Такой подход в настоящее время широко используется при организации интерактивных картографических интернет-сервисов (*GoogleMaps*) и представлении пространственных данных через сеть интернет.

При дистанционном зондировании Земли носителем информации об объектах служит их излучение, как собственное, так и отраженное. Излучение представляет собой электромагнитные волны разной длины, спектр которых изменяется от рентгеновского до радиоизлучения.

Однако в исследованиях окружающей среды используют более узкую часть спектра: от оптических волн до радиоволн в диапазоне длин 0,3 мкм – 3 м. При этом отраженное излучение регистрируется одновременно в разных длинах волн.

Съемочные системы разделяют по технологии получения материалов на фотографические, телевизионные, лазерные (лидарные), радиолокационные и сканерные.

С целью организации объектов и маршрутов экологического туризма и их информационного обеспечения наиболее перспективными в настоящее время являются сканерные оптико-электронные космические системы дистанционного зондирования Земли.

Конструктивно сканер состоит из оптической системы, фотоэлектронных преобразователей, устройства приема и регистрации изображения. Приемная оптическая система собирает поток отраженного от Земли излучения и направляет его на приемник фотоэлектронных преобразователей, который преобразует оптический сигнал в электрический.

В последующем электрический сигнал преобразуется в двоичный код, на основании которого и формируется изображение, состоящее из множества отдельных, последовательно получаемых элементов – пикселей в пределах полос (строк, сканов). Ширина получаемой полосы и размер пикселя на местности определяется оптической системой аппаратуры дистанционного зондирования [13].

В зависимости от используемых диапазонов электромагнитного спектра (спектральных каналов) и их числа снимки подразделяются на панхроматические (однозональные), многозональные (мультиспектральные), гиперспектральные и радиолокационные.

Панхроматические снимки представляют собой одиночные снимки в одном видимом диапазоне спектра и по характеру передачи свойств объектов они схожи с фотографическими (рис. 5.11). Посредством панхроматического сканера можно получить стереоскопическое (трехмерное) изображение снимаемой поверхности Земли.

Многозональные снимки получают путем съемки местности одновременно в разных зонах спектра (рис. 5.12).

Данные материалы отражают специфику отображения разных объектов в различных спектральных диапазонах (каналах). В этой связи системы многозональной съемки проектируют так, чтобы фиксировать эту специфику, и различные компании-разработчики используют различные сочетания спектральных каналов и их ширину.



Рис. 5.11. Панхроматический космический снимок системы *Ikonos*



Рис. 5.12. Многозональный синтезированный космический снимок системы *Ikonos*

Гиперспектральные снимки – это снимки, получаемые гиперспектральными датчиками, регистрирующими данные в большом числе узких зон спектра, измеряемых обычно в нанометрах.

Радиолокационные (радарные) снимки – это снимки, получаемые путем регистрации отраженных зондирующих сигналов, генерируемых самой системой дистанционного зондирования в диапазоне 3–100 см. Благодаря значительной длине волны микроволны могут проникать через атмосферу днем и ночью при любых погодных условиях, обеспечивая получение данных даже в туман, дождь и при большой облачности.

К характеристикам материалов космической съемки, обуславливающих их потребительские качества, относят ширину полосы съемки, возможность получения стереопары, но основным параметром является разрешение. Именно оно определяет дешифровочные возможности снимков. В дистанционном зондировании разрешение – это мера способности оптической системы различать сигналы, которые пространственно близки или спектрально подобны. Выделяют четыре типа разрешения: спектральное, пространственное, радиометрическое и временное.

Спектральное разрешение определяется числом и размером спектральных зон съемки и зависит от параметров съемочной системы. Спектральная зона съемки может быть широкой, как одна зона черно-белого панхроматического снимка (0,4–0,7 мкм) или достаточно узкой, как, например, красная зона снимка *Landsat TM* (0,63–0,96 мкм). Чем шире используемая зона электромагнитного спектра, тем ниже спектральное разрешение. Большое количество спектральных зон снимка повышает вероятность идентификации объектов.

Пространственное разрешение – это разрешение, определяемое линейным размером области (площадки) на земной поверхности, представленной одним пикселем. Чем оно выше, тем меньше его числовое значение. Например, пространственное разрешение 60 м (размер одного пикселя на местности составляет 60×60 м) является более грубым, чем пространственное разрешение 5 м (размер одного пикселя на местности составляет 5×5 м). В соответствии с пространственным разрешением выделяют снимки сверхвысокого, высокого, среднего и низкого пространственного разрешения.

Радиометрическое (яркостное) разрешение – число бит информации, выделенных для кодирования значений спектральной яркости в файле изображения для каждой зоны спектра. Определяется техническими параметрами датчиков, регистрирующих излучение, и характеризует максимальный диапазон изменения необработанных значений спектральной яркости. Например, при 8-битовом радиометрическом разрешении значения спектральной яркостей могут изменяться от 0 до 255, а при 7-битовом – от 0 до 127.

Временное разрешение – определяется частотой получения снимков конкретной области. Например, спутник *Landsat 7* может выполнять съемку одной и той же земной поверхности один раз каждые 16 дней, а *SPOT* – один раз каждый день. Временное разрешение является важным параметром при изучении и обнаружении изменений на территории.

В настоящее время эксплуатируется достаточно большое количество спутников дистанционного зондирования Земли, имеющих различное разрешение и предназначенных для решения самых разных задач: от мониторинга территорий и поиска полезных ископаемых до создания планово-картографических материалов.

Landsat 7 обеспечивает съемку земной поверхности в шести каналах с пространственным разрешением 30 м, в одном инфракрасном канале с разрешением 60 м, а также панхроматическую съемку с разрешением 15 м при ширине полосы съемки 185 км. Материалы космической съемки данного спутника позволяют решать задачи картографирования территорий, организации их мониторинга на уровне масштаба 1:200 000 и мельче.

Спутник *QuickBird* (США) предназначен для получения цифровых изображений земной поверхности с пространственным разрешением 61 см в панхроматическом режиме и 2,44 – м в мультиспектральном. Для систем сверхвысокого пространственного разрешения спутник имеет достаточно широкую полосу съемки – 16,5 км. Основное назначение – создание планово-картографических материалов масштаба 1:2 000 и мельче, инвентаризация земель и объектов, а также широкий круг задач в области охраны окружающей среды.

Космическая система дистанционного зондирования *GeoEye* (США) имеет в настоящее время беспрецедентное пространственное разрешение: 41 см в панхроматическом режиме и 1,65 – при многозональной съемке. При этом обеспечивается прохождение над любым районом Земли каждые 1–3 дня (в зависимости от долготы). Данная система предназначена для решения задач картографирования на уровне масштабов 1:2 000 и мельче, создания цифровых моделей рельефа с точностью 1–2 м по высоте, а также инвентаризации земель и объектов.

Спутник *Ikonos* (США) предназначен для получения цифровых изображений земной поверхности с пространственным разрешением 1 м в панхроматическом режиме и 4 м – в многозональном. Система выполняет съемку в полосе 11 км в четырех спектральных диапазонах с периодичностью 1–5 дней. Отличительной особенностью является возможность проведения стереосъемки, что позволяет создавать трехмерные стереомодели земной поверхности с содержащимися на ней объектами.

Белорусский космический аппарат (БКА) позволяет проводить съемку земной поверхности в панхроматическом режиме с простран-

ственным разрешением 2,1 м и многозональным – 10,5 м с шириной полосы порядка 20 км. Система выполняет съемку в 3-х спектральных диапазонах (один инфракрасный) с периодичностью 5 дней и предназначена для решения задач по контролю землепользования и природных ресурсов, обновления топографических карт, контроля чрезвычайных ситуаций, мониторинга окружающей среды и др.

Обобщенные характеристики материалов перечисленных систем дистанционного зондирования представлены в табл. 5.1 [14].

Таблица 5.1

Характеристика материалов систем космической съемки

Система съемки	Число диапазонов	Диапазон съемки, мкм	Пространственное разрешение, м	Временное разрешение, сут.	Радиометрическое разрешение, бит/пиксель	Ширина полосы, км
<i>Land-sat7</i>	6	0,45–0,52 0,53–0,61 0,63–0,69 0,78–0,90 1,55–1,75 2,09–2,35	30	16	8	185
	<i>PAN</i>	0,52–0,90	15			
<i>Quick Bird</i>	4	0,45–0,52 0,52–0,60 0,63–0,69 0,76–0,90	2,44	1–5	11	16,5
	<i>PAN</i>	0,45–0,90	0,61			
<i>GeoEye</i>	4	0,45–0,52 0,52–0,60 0,63–0,70 0,76–0,90	1,65	1–3	11	15,2
	<i>PAN</i>	0,45–0,90	0,41			
<i>Ikonos</i>	4	0,45–0,52 0,52–0,61 0,64–0,72 0,77–0,88	4	1–5	11	11
	<i>PAN</i>	0,45–0,90	1			
БКА	4	0,54–0,60 0,63–0,69 0,6–0,72 0,75–0,86	10,5	5	8	–
	<i>PAN</i>	0,52–0,85	2,1			

Примечание. *PAN* – панхроматический диапазон съемки

Получаемые с космических аппаратов дистанционного зондирования снимки являются «сырыми», и для их использования в ГИС необходимо выполнить обработку.

Методы цифровой обработки снимков подразделяют на две группы:

- методы предварительной обработки изображений, обеспечивающие яркостные и геометрические преобразования снимков;
- методы дешифрирования (классификации) космических снимков. При этом под дешифрированием понимается процесс распознавания отдельных объектов на снимке и отнесение их к определенному классу (например, покрытые лесом земли, болота, сельскохозяйственные земли, водные объекты и др.).

Предварительная обработка выполняется с целью устранения яркостных и геометрических искажений, а также для облегчения и повышения достоверности визуального дешифрирования. Основными этапами, составляющими предварительную обработку, являются радиометрическая и геометрическая коррекции, улучшение изображений.

Радиометрическая коррекция выполняется с целью устранения влияния на значения пикселей изображения приборных и атмосферных помех, которые могут приводить к появлению полос, шумов, частей изображения повышенной яркости и др.

Геометрическая коррекция призвана устранить искажения полученного цифрового изображения, вызванные влиянием вращения и сферичности Земли, наличием перспективных искажений.

Улучшение изображений может включать значительное число различных процедур: повышение контраста изображения, вырезки отдельных его частей (кадрирование), создание мозаик, фильтрация изображения, цветовое синтезирование (перевод многоканального растра в цветовую модель *RGB*), улучшение пространственного разрешения и др. Перечень выполняемых при этом операций зависит от конечной цели использования изображения. Например, если космический снимок предполагается использовать в недешифрированном виде в картографическом интернет-сервисе, как правило, необходимо проведение процедур улучшения контраста, синтезирования изображения, а также его сжатия.

Основной целью дешифрирования данных дистанционного зондирования является создание планово-картографических материалов. При этом выделяют два способа: визуальное дешифрирование и автоматизированное.

Визуальное дешифрирование выполняется оператором на основе визуального анализа прямых и косвенных дешифровочных признаков объектов. К таким признакам относят форму объектов, их цвет, тон, характер расположения относительно других объектов местности и др.

Автоматизированное дешифрирование выполняется с использованием специализированных программных комплексов (*ENVI*, *ERDAS*) на основе специальных алгоритмов. Термин «автоматизированное дешифрирование» в иностранной литературе заменяют синонимом «тематическая классификация». Тематическая классификация космического снимка представляет собой процесс сортировки пикселей изображения в конечное число классов, основанный на значениях признаков пикселей. При этом оцениваемые признаки пикселей могут быть различны: текстура изображения, взаимное расположение, но наиболее часто используются спектральные яркости.

При тематической классификации с использованием спектральных яркостей пикселей изображения выделяют два метода:

- неконтролируемая классификация (или классификация без обучения);
- контролируемая классификация (или классификация с обучением).

При неконтролируемой классификации формирование тематических классов осуществляется на основании статистических методов, т. е. в один класс относятся пиксели, спектральные яркости которых достоверно отличаются от других. При этом количество тематических классов (или диапазон их количества), а также пороговые уровни различия спектральных яркостей задаются пользователем. В результате проведения неконтролируемой классификации формируется тематический растр, в котором каждый класс обозначается своим цветом. Задача пользователя сводится к интерпретации цветов, т. е. к установлению какой цвет на тематическом растре, каким объектам на местности соответствует. При этом для идентификации выделенных классов результаты классификации без обучения сравниваются с любой доступной информацией (например, достоверными наземными данными) о классах поверхности Земли на изображении. Проблема интерпретации заключается в том, что зачастую одному цвету может соответствовать несколько тематических классов. Вместе с тем классификация без обучения полезна, например, для создания основного множества классов, после чего может использоваться классификация с обучением для их уточнения.

Классификация с обучением предусматривает использование эталонных участков изображения, представленных по планируемым к выделению тематическим классам.

Эталонные участки (обучающие выборки) – это наборы пикселей, которые представляют распознаваемый класс объектов и служат для его идентификации. Обычно это некоторый участок на снимке, идентифицированный на основании полевых обследований.

Выбор эталонов в значительной степени зависит от знания пользователем исследуемой территории и тематических классов, которые он хочет выделить.

Основными требованиями, предъявляемыми к обучающим выборкам, является их репрезентативность и делимость.

Репрезентативность предполагает, что все пиксели выборки должны соответствовать одному классу на местности и учитывать все разнообразие спектральных яркостей данного класса. В спектральном пространстве репрезентативность выборок определяют:

- одномодальность гистограммы распределения спектральных яркостей, т. е. кривая распределения спектральных яркостей должна иметь одну вершину и приближаться к кривой нормального распределения;

- минимальность дисперсии распределения, которая характеризует однородность данных выборки.

Требование делимости заключается в достоверном разделении спектральных яркостей обучающих выборок разных классов. Например, спектральные яркости обучающих выборок для класса «водные объекты» должны статистически достоверно отличаться от обучающих выборок класса «покрытые лесом земли».

Оценка репрезентативности и делимости обучающих выборок тематических классов выполняется с использованием программных функций специализированных систем обработки ДДЗЗ (*ENVI*, *ERDAS*).

При этом для оценки репрезентативности рассчитываются статистические показатели распределения спектральных яркостей и построение кривых данных распределений, а для оценки делимости – расчет специальных коэффициентов (трансформированной дивергенции и Джефриса – Матусита) и сравнение их с пороговыми значениями.

Для подбора эталонных участков применяют разные способы: идентификация объектов на местности, использование вторичных данных – векторных карт, материалов аэрофотосъемки топографических карт, баз данных и др.

После подбора эталонных участков выполняют непосредственно классификацию. При этом каждый пиксель изображения клас-

сифицируется отдельно в соответствии с определенным решающим правилом. Решающее правило – это математический алгоритм, который, используя значения спектральных яркостей пикселей эталонных участков, выполняет фактическую сортировку всех пикселей изображения по классам. Современные системы обработки ДДЗЗ могут выполнять контролируемую классификацию в соответствии с различными решающими правилами: минимального расстояния, максимального правдоподобия, параллелепипеда, спектрального угла и др.

В результате проведения контролируемой тематической классификации создается тематическая растровая карта, содержащая перечень тематических классов, соответствующих перечню классов эталонных участков.

6. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ТУРИЗМЕ

6.1. Использование геоинформационных технологий в задачах экологического туризма

Экологический туризм является одной из традиционных областей применения геоинформационных технологий. В связи с развитием компьютерной техники и мобильных устройств, систем глобального позиционирования и космического дистанционного зондирования Земли, интернет-технологий и программного обеспечения ГИС, использование геоинформационных систем в области экологического туризма претерпевает в настоящее время период бурного развития. Геоинформационные технологии используются для решения самых разнообразных задач как при организации объектов экологического туризма, так и при оказании туристических услуг и продвижении туристических продуктов на рынок. При этом перечень задач, в решении которых используется ГИС, с каждым годом увеличивается. Тем не менее следует выделить основные направления использования геоинформационных технологий в экологическом туризме:

- подготовка туристических планово-картографических материалов (в том числе и для использования в цифровом виде);
- создание и ведение кадастра объектов и ресурсов экологического туризма;
- разработка туристических маршрутов;
- анализ туристических потоков;
- создание интерактивных картографических *Web*-сервисов для популяризации туристических услуг;
- обеспечение цифровыми картами мобильных навигационных устройств.

Круг пользователей таких туристических ГИС достаточно широк: от отделов Национальных парков, планирующих развитие туристических и рекреационных услуг, до рядовых граждан, желающих выбрать подходящие места для отдыха или посмотреть туристские маршруты. Таким образом, туристические ГИС должны преду-

смаатривать несколько уровней использования и строиться как распределенные системы.

Подготовка туристических планово-картографических материалов – одна из наиболее простых, но в тоже время часто возникающих задач в экологическом туризме. В настоящее время существует достаточно большой перечень полиграфической продукции (буклеты, справочники, карты и др.), содержащей пространственные данные.

Задача создания планово-картографических материалов включает перечень последовательно выполняемых основных этапов: выбор картографических слоев, настройка параметров их отображения (толщин линий, заливки площадных картографических объектов, символов точечных объектов, размещения подписей и др.), подбор масштаба для вывода на печать, создание перечня условных обозначений, формирование подписей и зарамочного оформления карты, разбивка широкоформатной карты на отдельные фрагменты.

Развитие сети интернет привело к тому, что зачастую туристические планово-картографические материалы используются в электронном виде путем их размещения на сайтах организаций, представляющих туристические услуги.

До недавнего времени для подготовки карт к изданию использовались главным образом классические оформительские программные продукты, такие как *Adobe Illustrator*, *Corel Draw*, *Adobe Photoshop* и др. Однако, несмотря на широкие оформительские возможности, их использование при подготовке планово-картографических материалов к печати вызывает ряд трудностей: сложно задать масштаб будущей карты, сформировать список условных обозначений, создать координатную сетку, данные системы не позволяют учитывать системы координат и др.

Современные геоинформационные системы имеют в своем составе программные средства, позволяющие осуществлять предпечатную подготовку планов и карт. Например, в геоинформационных системах *ArcView GIS*, *ArcGIS* используется отдельный структурный элемент проекта – компоновка (рис. 6.1). С его использованием осуществляется весь комплекс работ по подготовке карты к печати.

Однако следует отметить, что геоинформационные системы ориентированы на широкий спектр потребителей и задач, поэтому создаваемые с их помощью карты и планы часто являются упрощенными и даже примитивными, во многом проигрывая традиционно выполненным картографическим продуктам [6]. В этой связи прослеживается тенденция к созданию дополнительных функцио-

нальных возможностей в ГИС для качественного оформления планово-картографических материалов с эстетически привлекательным аннотированием, т. е. размещением текстовых подписей географических объектов.

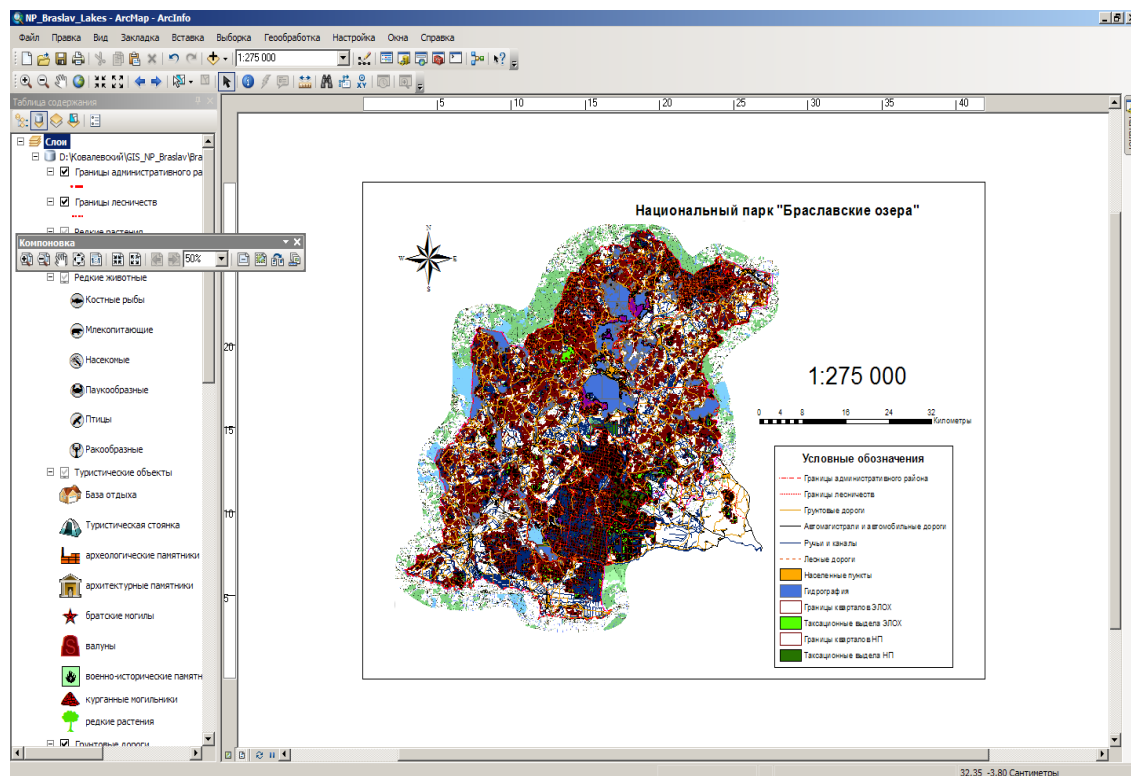


Рис. 6.1. Подготовка карты к печати в геоинформационной системе *ArcGIS*

Наиболее известными продуктами картпроизводства, работающими, например, с данными в формате ГИС *ArcInfo*, являются системы *CPS* шведской фирмы *T-kartor* и *Maplex* от *ESRI*. *CPS* представляет собой надстройку над *ArcInfo*, позволяющую создавать аннотации в формате *ESRI*, а *Maplex* является дополнительным программным модулем системы *ArcGIS*, основное назначение которого – автоматизация и оптимизация размещения подписей на картах и подготовка их к выводу на печать.

Создание и ведение туристического кадастра предполагает не только хранение информации об имеющихся на территории объектах и ресурсах (туристических стоянках, маршрутах и др.), но и постоянную ее актуализацию. При этом у пользователя появляется возможность оперативного анализа данных путем создания запросов, формирования отчетных документов, а также с использованием программных функций пространственного анализа данных.

Анализ туристических потоков и выработка управленческих решений по оптимизации туристической деятельности осуществляется с использованием комплекса функций пространственного геоинформационного анализа данных.

6.2. Интернет-ГИС в экологическом туризме

В настоящее время сформировалось новое направление развития геоинформационных технологий, связанное с интернет-приложениями. Произошло это стремительно и масштабно благодаря, прежде всего, интернет-технологиям. Появились и закрепились новые направления исследований, стала складываться новая терминология, например, *Веб-картографирование (Web-mapping)*, *Картографический интернет-сервер (Internet Map Server)*, *Распределенная географическая информация (Distributed Geographic Information)*, сформировался рынок специализированных программных продуктов.

Главное достоинство Веб-ГИС-технологии – возможность объединения и доступность для широкого совместного использования пространственных данных, рассредоточенных по различным точкам земного шара. Таким образом, Веб-ГИС-технологии позволяют добавлять специализированные функции геоинформационных систем (например, отображение и масштабирование карты, поиск картографических объектов по запросу, отображение атрибутивных характеристик) непосредственно в интернет-приложение. При этом в качестве такового приложения чаще всего выступает браузер, с помощью которого пользователь просматривает интернет-страницы. Однако для получения расширенных функций ГИС многие производители предлагают установить клиентское программное обеспечение, например, *GoogleEarth*.

В настоящее время в интернете имеется немало Веб-ГИС-сервисов, представляющих пользователям Всемирной Паутины эффективные средства поиска пространственных данных и информации о картографических объектах, возможности анализа картографических данных и даже их редактирования. Можно выделить несколько направлений функционального применения Веб-ГИС-сервисов [3]:

- справочно-информационное картографическое обслуживание – представление пользователям сети интернет простейшей информации о территории и объектах на ней расположенных;
- справочно-аналитическое картографическое обслуживание – представление картографической информации с простейшими функ-

циями ее анализа (поиск объектов по запросу, формирование отчетов, прокладка маршрутов и др.);

– тематико-картографическое обслуживание – представление пользователям массивов тематически подобранных карт или функций по их созданию (карта историко-культурных ценностей, карта рыбака, карта туристических маршрутов и др.);

– визуально-картографическое представление цифровых баз геоданных для их актуализации – это наиболее сложные Веб-ГИС-сервисы, которые позволяют выполнять не только всесторонний анализ пространственных и атрибутивных данных, но и удаленное их редактирование. Таким образом, пользователь получает возможность с использованием сети интернет анализировать и изменять данные, находясь в любой точке земного шара.

В сфере экологического туризма распространение получили три первых направления использования Веб-ГИС-сервисов, прежде всего, с целью популяризации туристических объектов, ресурсов и услуг, а также непосредственного планирования маршрутов самими туристами с учетом их индивидуальных интересов.

Существуют две основные технологические стратегии, с помощью которых геоинформационные функции встраиваются в Веб-технологии: «клиентосторонняя» и «серверосторонняя».

«Серверосторонняя» стратегия позволяет пользователям (клиентам) выполнять запросы по анализу и представлению пространственных данных непосредственно на Веб-сервере. Сервер обрабатывает полученные запросы и посылает результаты их выполнения (обработанные пространственные данные или полученные решения) удаленному клиенту. В этом случае клиент считается «тонким».

«Клиентосторонняя» стратегия позволяет пользователю выполнять определенную обработку пространственных данных, получаемых с сервера, на собственном компьютере. Данная стратегия основана на подключении дополнительных геоинформационных функций к Веб-браузерам. При этом клиент считается «толстым».

Поскольку «серверосторонняя» и «клиентосторонняя» стратегии имеют как преимущества, так и недостатки, на практике обе стратегии, как правило, комбинируются в так называемые гибридные технологические решения, настраиваемые на определенный круг задач, которые должен уметь решать Веб-ГИС-сервер. При разработке гибридных решений анализируется состав и структура пространственных и атрибутивных данных, возможный круг пользователей и оснащенность клиентских мест, типовые запросы и др.

Выделяют две разновидности «клиентосторонней» стратегии:

- использование ГИС-апплетов, поставляемых клиенту по его требованию;
- использование ГИС-апплетов и программных приложений, постоянно размещаемых на компьютере клиента.

В первом случае процедуры геоинформационного анализа реализуются с помощью небольших компьютерных программ (апплетов), которые запускаются и выполняются на компьютере клиента. Апплеты передаются клиентскому компьютеру по его требованию, когда необходимо выполнение ГИС-процедур и функций. После того как пространственные данные и апплеты переданы с сервера на компьютер клиента, последний получает возможность работы с ними независимо от сервера, а файлы запросов и ответов уже не передаются по сети интернет.

При использовании ГИС-апплетов и программных приложений (*Plug-in*), постоянно размещаемых на компьютере клиента, отпадает необходимость их пересылки с сервера каждый раз, когда они необходимы для обработки данных. При этом геоинформационные *Plug-in* могут быть инсталлированы как в среде Веб-браузера при помощи добавления в его интерфейс ГИС-инструментов, так и в настольную ГИС (*ArcView*, *MapInfo* и др.), с дополнением их программными функциями для связи с удаленными Веб-серверами. В настоящее время для любого программного пакета ГИС, который имеет среду создания пользовательских приложений, могут быть созданы программные модули, осуществляющие загрузку пространственных данных с сервера на компьютер клиента по сети интернет.

Весьма большое влияние на производительность обработки пространственных данных, поставляемых по сети интернет, оказывает технология организации Веб-ГИС-сервера. В зависимости от используемых технологических стратегий и платформ все существующие Веб-ГИС-серверы можно разделить на несколько основных групп [3].

1. Серверы, передающие исходные данные на компьютер клиента. Это наиболее простой тип организации взаимодействия клиентского компьютера и сервера, подразумевающий организацию на сервере архива файлов в форматах, поддерживаемых различными программными средствами ГИС. Как правило, файлы размещаются на *FTP*- или *HTTP*-серверах с возможностью навигации. Наилучший результат достигается при использовании обоих типов серверов: *HTTP* – для навигации по архиву и просмотра описаний пространственных данных, а *FTP*, как более быстрый протокол передачи данных, – для передачи пространственных данных по сети интернет. После загрузки

пространственные данные обрабатываются локально геоинформационной системой, установленной на компьютере клиента.

2. Серверы, передающие географические изображения в растровом или векторном формате. При данной технологии с помощью какой-либо ГИС подготавливают необходимые карты, которые сохраняют в графическом файле. При этом используют наиболее «плотные» форматы: *GIF*, *JPEG* – для растровых данных; *CGM*, *DXF* – для векторных. После этого формируются Веб-страницы, в которые данные файлы встраиваются. С позиций функциональных возможностей, такие серверы ограничиваются только представлением данных, не обрабатывают запросы и не имеют никаких функций анализа. Иногда в данной технологии применяется псевдомасштабирование цифровых карт, при котором растровое изображение растягивается за счет повторения пикселей.

3. Серверы, формирующие карты в интерактивном режиме. В настоящее время это самый распространенный способ передачи геоизображений через интернет. Карта, отображаемая Веб-браузером на компьютере клиента, создается непосредственно в процессе формирования самой *HTML*-страницы в результате работы специального программного обеспечения, имеющегося на сервере. Формирование *HTML*-страницы и карты происходит от параметров запроса пользователя: масштаб, местоположение, перечень слоев и др. Сервер формирует растровое изображение, которое передается на компьютер пользователя и показывается ему с помощью Веб-браузера. Когда пользователь хочет изменить параметры отображения (переместить карту, увеличить или уменьшить масштаб, включить или выключить слои и др.) на сервер передается новый запрос, в соответствии с которым формируется новая карта с новыми параметрами, которая снова передается пользователю.

Применение такой технологии позволяет получать интерактивные карты, отвечающие любым запросам пользователя. Однако в этом случае на сервер ложится большая нагрузка, поскольку он зачастую должен формировать множество карт для разных пользователей одновременно. В этой связи Веб-ГИС-серверы данной группы могут предусматривать использование специализированных Веб-браузеров или дополнительных модулей к стандартным браузерам, которые сами формируют карты на компьютере клиента по пространственным данным, переданным сервером.

4. Удаленные аналитические Веб-ГИС-серверы. Это самый сложный тип Веб-ГИС-систем, который представляет пользователю практически все возможности настольной ГИС: от простейшей визуализации пространственной информации и осуществления запросов, до

функций пространственного геоинформационного анализа и удаленного редактирования данных, находящихся на сервере. При такой технологии данные обрабатываются так, как будто они находятся на локальном диске компьютера пользователя.

При создании веб-сервисов в сфере экологического туризма используются технологии построения серверов, передающие географические изображения в растровом или векторном формате, а также формирующие карты в интерактивном режиме.

В настоящее время подавляющее большинство крупных интернет-порталов создают интерактивные картографические интернет-сервисы (ИКС). Под интерактивным картографическим интернет-сервисом понимается технология формирования документов, включающих картографические данные, полученные в результате взаимодействия пользователя Веб-сайта со специализированным картографическим сервером.

Главными компонентами схемы организации ИКС являются компьютер клиента с установленным на нем Веб-браузером и специализированный сервер с соответствующим программным обеспечением. Запрос от компьютера клиента передается через интернет на *HTML*-сервер, где размещен интересующий пользователя сайт. На данном сервере запрос проходит предварительную обработку специализированной программой (*CGI*-скриптом), после чего передается на ГИС-сервер, который работает с пространственными и атрибутивными данными. ГИС-сервер обрабатывает полученный запрос и передает сформированную карту обратно по цепочке на компьютер клиента.

Как правило, для интерактивного картографического интернет-сервиса обязательными являются следующие основные функции: выбор, масштабирование и скроллинг карты; включение и выключение отображаемых на карте картографических слоев; получение атрибутивной информации по картографическим объектам в отдельном информационном окне; формирование запросов для поиска объектов; измерение расстояний.

В качестве наиболее удачного примера интерактивного картографического интернет-сервиса последнего времени следует привести проект *Google Maps* (www.google.com/maps). В настоящее время картографический Веб-сервис компании *Google*, как и другие крупные картографические интернет-сервисы (*MapQuest*, *MapBlast*, *Maporama* и др.), предоставляет возможности детального просмотра транспортной сети стран и городов, расчета по ней маршрутов движения (рис. 6.2). Отличительная черта *Google Maps* заключается в предоставлении актуального картографического контента и возможностей эффективного поиска геогра-

фических объектов по названиям и почтовым адресам. Помимо этого сервис позволяет интегрировать картографические изображения с космическими снимками в качестве фоновой подложки, создавая таким образом космокартографические изображения.

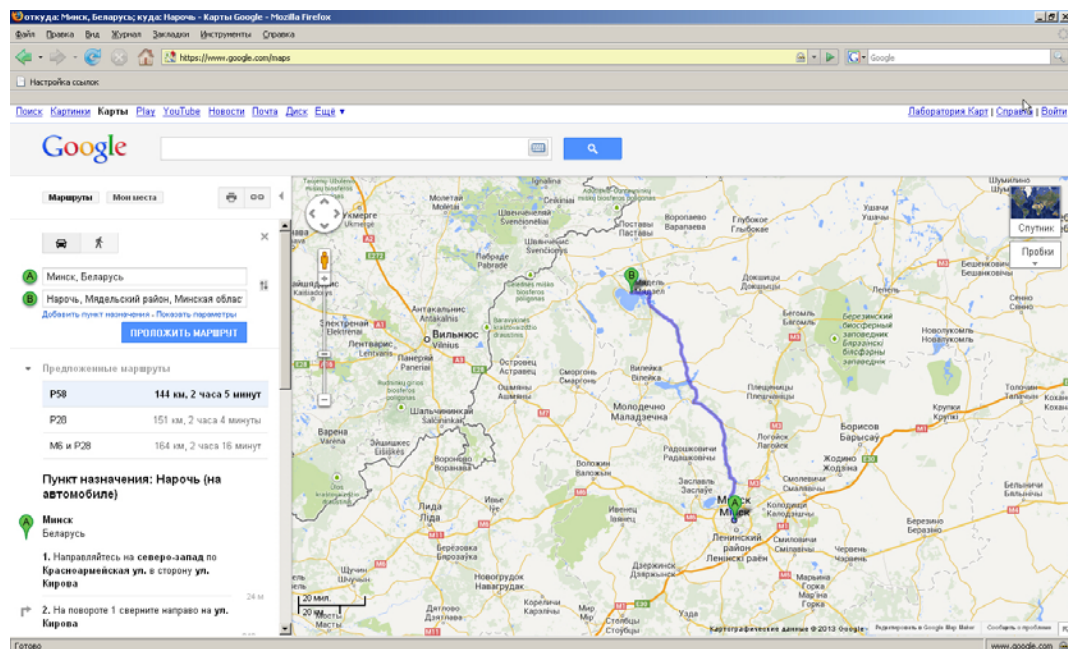


Рис. 6.2. Интерактивный картографический интернет-сервис *Google Maps*

Сходным продуктом компании *Google* является свободно распространяемый программный продукт *GoogleEarth*, который устанавливается на компьютер пользователя в качестве клиентского приложения и позволяет осуществлять поиск и просмотр объектов по всему миру по материалам космической съемки (рис. 6.3).

Среди основных функциональных возможностей и особенностей *GoogleEarth* следует отметить:

- представление реалистичных трехмерных моделей рельефа, зданий, деревьев. Пользователь имеет возможность просматривать в 3D-режиме практически любой пункт на земной поверхности (рис. 6.4);
- поиск объектов (населенных пунктов, гостиниц, мест отдыха и т. д.) по всему миру;
- прокладка автомобильного маршрута и виртуальная поездка по нему;
- просмотр достопримечательностей и объектов;
- имитатор полета – функция, позволяющая исследовать не только поверхность Земли, но и подводные глубины океанов, морей, озер.



Рис. 6.3. Интерфейс программы *GoogleEarth*



Рис. 6.4. Представление трехмерных моделей земной поверхности в *GoogleEarth*

В сфере туристической деятельности интерактивные картографические сервисы используются, главным образом, для оказания информационно-справочных услуг потенциальным туристам, рекламы тури-

стических услуг, а также навигации по туристическим маршрутам с использованием мобильных устройств.

В качестве примера успешной реализации интерактивных картографических сервисов в сфере экологического туризма можно привести интернет-портал Центра Устойчивого Туризма (*Center for Sustainable Destinations*) в США, центральной идеей которого является развитие геотуризма и сохранение природного мирового наследия. Данный интернет-портал содержит мировую интерактивную карту, на которой размещены ссылки на интернет-сайты Национальных парков США, Гватемалы и Перу (рис. 6.5).

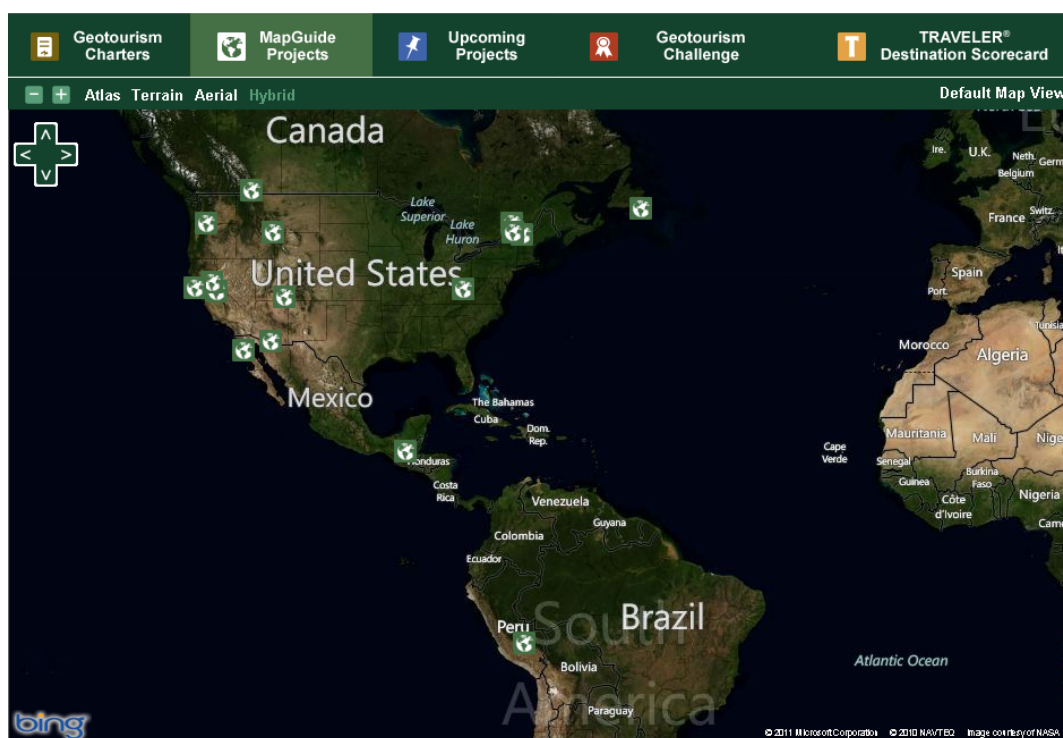


Рис. 6.5. Фрагмент мировой карты Центра Устойчивого Туризма

Строение большинства сайтов Национальных парков является типовым, и характерным примером является сайт Йеллустонского Национального парка (<http://www.yellowstonegeotourism.org/map.php>). Для карты Национального парка предусмотрено четыре режима просмотра: «Карта», «Спутник», «Гибрид» и «Ландшафт» (рис. 6.6). В режиме «Карта» показывается топографическая карта местности, в режиме «Спутник» – сформированный по материалам космической съемки ортофотоплан с возможностью его панорамирования и масштабирования, в режиме «Гибрид» – космические снимки с наложенной векторной картой, а в режиме «Ландшафт» – ландшафт местности

с нанесенными названиями населенных пунктов и дорог. При просмотре пользователь самостоятельно определяет область, масштаб и режим просмотра.

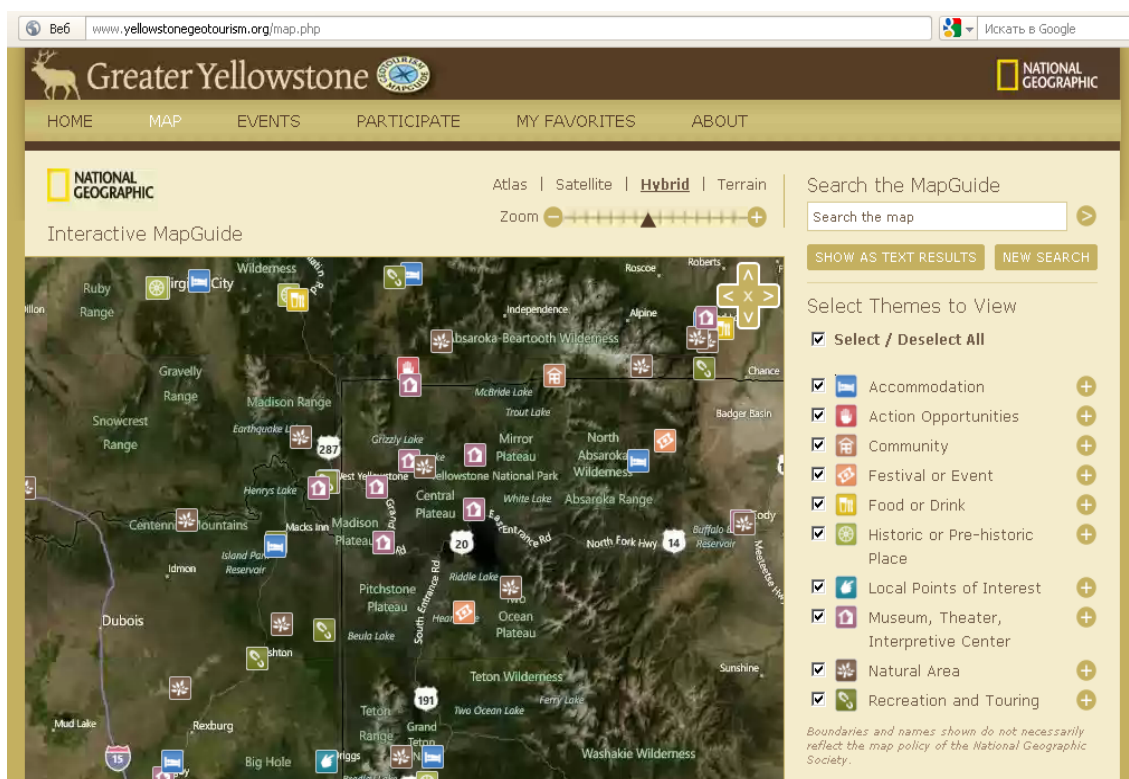


Рис. 6.6. Интерактивный картографический сервис Йеллустонского Национального парка

На карте условными знаками обозначено расположение: гостиниц, мотелей, кемпинга, постоянных дворов, ранчо; офисов природоохранных организаций; культурных районов, резерваций индейцев и населенных пунктов, имеющих культурную ценность; мест проведения спортивных, музыкальных и прочих культурных мероприятий (с указанием времени проведения); кафе, ресторанов, магазинов и продуктовых рынков; мест, представляющих историческую ценность, и достопримечательностей; музеев, театров, выставок, галерей; рек, озер, природных заказников, геологических объектов, государственных и общественных лесов; велосипедных и пеших маршрутов, маршрутов спуска на каноэ, маршрутов восхождения в горы, мест получения экипировки, мест проведения рыбалки и наблюдения за дикими животными и т. д.

Сервис также позволяет искать самые разнообразные объекты на территории по запросу пользователя и получать о них атрибутивную

информацию. Условные знаки могут быть включены или исключены пользователем.

Информационно-справочная система особо охраняемых природных территорий России (www.oopt.info) включает интерактивную карту Российской Федерации, разделенную по федеральным округам, на которой условными значками показаны различные виды ООПТ: заповедники, заказники, Национальные парки (рис. 6.7).

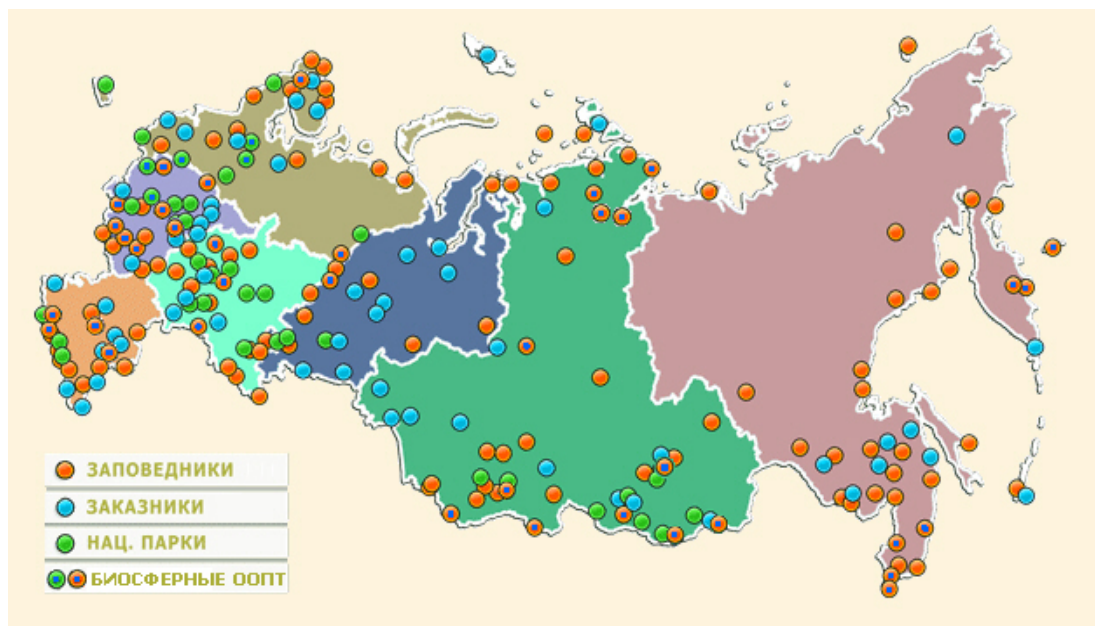


Рис. 6.7. Интерактивная карта особо охраняемых природных территорий Российской Федерации

Для получения данных по интересующей пользователя ООПТ нужно выбрать соответствующий округ и указать на необходимый значок. В результате загрузится Веб-сайт выбранного объекта, содержащий растровое изображение топографической карты с границами территории.

В Республике Беларусь создание интерактивных картографических интернет-сервисов туристического назначения находится на стадии становления.

Наиболее ярким примером из отечественных разработок является Веб-сайт Национального парка «Нарочанский» (www.naroch.com). Данный сайт включает ссылки на интерактивные карты туриста, рыбака, курортного поселка, а также карту культурных ландшафтов, которые могут быть загружены с Веб-ГИС-сервера компании *ESRI* (рис. 6.8).

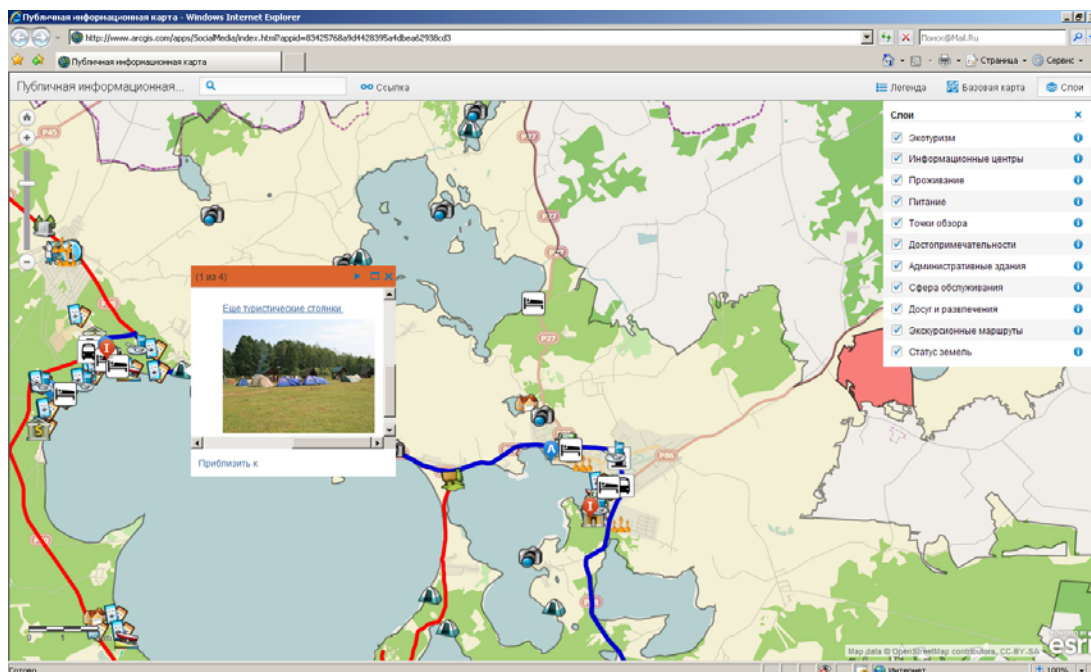


Рис. 6.8. Интерактивная туристическая карта
Национального парка «Нарочанский»

Интерактивная туристическая карта НП «Нарочанский» помимо стандартной топографической нагрузки включает слои туристических объектов и маршрутов, достопримечательностей, информационных центров, пунктов питания, видовых точек и др. Пользователь может масштабировать карту, осуществлять ее скроллинг, просматривать характеристики размещенных на карте объектов, загружать их фотоизображения, управлять картографическими слоями.

Таким образом, современные технологии использования интерактивных картографических интернет-сервисов в туристической деятельности находятся на этапе динамического развития, и в ближайшее время следует ожидать развития их функциональных возможностей, увеличения скоростей обработки данных, что будет способствовать еще более широкому использованию интернет-ГИС-технологий в экологическом туризме.

6.3. Мобильные геоинформационные системы в экологическом туризме

Мобильные ГИС являются результатом развития настольных продуктов и предназначены для работы в полевых условиях. При этом функционирование данных геоинформационных систем осуществля-

ется на основе различного рода мобильных устройств – планшетов, карманных персональных компьютеров и смартфонов. В целом, мобильные устройства характеризуются значительно меньшей производительностью в сравнении с рабочими станциями и используют специализированные операционные системы: *Windows Mobile* (CE, Phone, 7), *Symbian*, *Android*, *iOS*. В этой связи отличительной особенностью ГИС этой группы является возможность обработки пространственных данных в системах с ограниченной производительностью на специализированных операционных системах. Обязательным условием мобильных геоинформационных систем является поддержка импорта данных из *GPS*-приемников (как правило, они уже встроены в мобильное устройство), а также наличие беспроводной связи для доступа в интернет, с целью загрузки пространственных данных или интерактивных картографических сервисов с удаленных серверов.

В области туристической деятельности следует выделить два основных направления использования мобильных ГИС:

- навигация на местности с показом характеристик объектов;
- сбор и обновление данных по объектам местности.

Среди основных программных функций, которые, как правило, должна поддерживать мобильная геоинформационная система, следует выделить: показ текущего положения пользователя на цифровой карте, просмотр пространственных данных и атрибутивных характеристик картографических объектов, управление картографическими слоями, создание запросов и тематических карт, загрузка данных с удаленных серверов, функции измерений по цифровым картам и планирования маршрутов. Для систем, используемых для сбора и обновления данных, обязательными также являются функции создания и редактирования пространственных и атрибутивных данных. Вместе с тем мобильные ГИС отличаются ограниченным набором программных функций пространственного геоинформационного анализа данных.

В настоящее время существует достаточно большой перечень программного обеспечения мобильных ГИС. Среди наиболее часто используемых в отечественной практике следует отметить разработки компании *ESRI* (*ArcGIS Mobile*, *ArcPad*), а также специализированную мобильную ГИС *Formap 2.0*.

ArcGIS Mobile – представляет собой набор инструментальных средств разработки программного обеспечения, являющийся частью *ArcGIS Server* для разработки и развертывания управляемых из одного центра, настраиваемых мобильных приложений, имеющих возможность синхронизации с сервером. Таким образом, приложение работа-

ет на основе клиент-серверной технологии и дает возможность интерактивно в полевых условиях использовать и обновлять ГИС-данные, находящиеся на сервере, обеспечивая точность и актуальность баз данных. Среди основных программных функций следует отметить возможность осуществления пространственных запросов к данным, использование данных *GPS*, создание и редактирование пространственных объектов и атрибутивных данных.

ArcPad – это мобильное приложение для картографирования и сбора полевых данных, которое способно обеспечить доступ к базе данных, создание и редактирование пространственных объектов и атрибутивных данных, средства интеграции с системами глобального позиционирования с помощью мобильных устройств.

Следует отметить, что настольные программные продукты ГИС также в своем большинстве могут быть установлены на мобильные устройства с условием соответствия операционной системы (рис. 6.9).

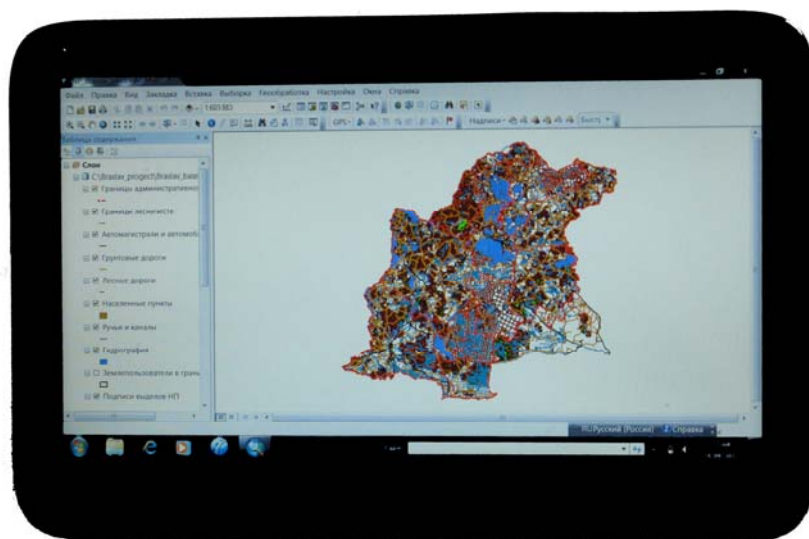


Рис. 6.9. Мобильная версия ГИС НП «Браславские озера»

Мобильная ГИС *Formap 2.0* является результатом развития настольного программного продукта ГИС «Лесные ресурсы» и наиболее адаптирована для работы с цифровыми картами земель лесного фонда и их атрибутивными данными. Система работает на платформе *Android* и может устанавливаться на любые устройства, в том числе смартфоны (рис. 6.10).

К основным функциональным возможностям мобильной ГИС *Formap 2.0* следует отнести: управление картографическими слоями и просмотр атрибутивных данных объектов карты, загрузка простран-

ственных данных с интерактивных картографических интернет-сервисов (*Google Maps*, *Yandex Maps*, *Rosreestr* и др.), проведение GPS-съемки объектов местности и др.

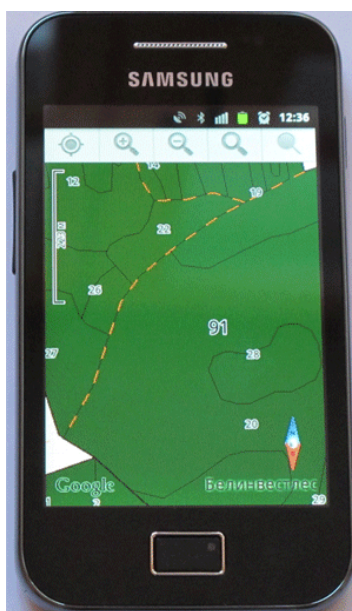


Рис. 6.10. Мобильная версия ГИС *Formap 2.0*

В настоящее время также широкое распространение получили автомобильные и туристические мобильные системы с закрытыми (недокументированными) форматами пространственных данных (*Garmin*, *Navitel*). Эти системы имеют информационно-справочное назначение, позволяют определять местоположение пользователя на цифровой карте, просматривать атрибутивные характеристики и выполнять простейшие запросы по поиску объектов и прокладке маршрутов. Системы не позволяют создавать и редактировать данные, а специальный формат данных делает невозможным прямую загрузку пользовательских карт в мобильное устройство.

В целом в сфере экологического туризма мобильные геоинформационные системы используются совместно с технологиями систем глобального позиционирования для проектирования туристических маршрутов, осуществления навигации на пункты местности, съемки объектов экологического туризма с целью их отображения на планово-картографических материалах. При этом, с использованием систем глобального позиционирования, получают координаты пунктов местности, а программное обеспечение мобильной ГИС осуществляет обработку получаемой информации в соответствии с командами пользователя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Атрощенко, О. А. Геоинформационные системы в лесном хозяйстве / О. А. Атрощенко, И. В. Толкач. – Минск: БГТУ, 2003. – 96 с.
2. Вуколова, И. А. Геоинформатика в лесном хозяйстве: учебник / И. А. Вуколова. – М.: ВНИИЛМ, 2002. – 216 с.
3. Геоинформатика: учеб. для студентов высших учебных заведений / Е. Г. Капралов [и др.]; под ред. В. С. Тикунова. – 2-е изд. – М.: Академия, 2008. – 384 с.
4. Де Мерс Географические информационные системы. Основы. / Де Мерс. – М.: Дата+, 1999. – 350 с.
5. Информационные технологии в высшей школе. Геоинформатика и географические информационные системы: Отраслевой стандарт Минобразования России 02.001– 97. – Введ. 01.03.98. – М.: Министерство общего и проф. образования РФ, 1997. – 10 с.
6. Гурьянова, Л. В. Аппаратно-программные средства ГИС: курс лекций / Л. В. Гурьянова. – Минск: БГУ, 2003. – 140 с.
7. Новейшие технологии ГИС // ArcReview. – 2001. – № 4. – 23 с.
8. Кодекс Республики Беларусь о земле от 23.07.2008. № 425-3 [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информации Респ. Беларусь. – Минск, 2012. – Режим доступа: <http://www.pravo.by>. – Дата доступа: 11.10.2012.
9. Земельно-информационная система Республики Беларусь. Основные положения: ТКП 010–2005. – Введ. 10.08.05. – Минск: Комитет по земельным ресурсам, геодезии и картографии, 2005. – 11 с.
10. Ермакоў, В.Я. Лесаўпарадкаванне: падруч. для студэнтаў ВНУ / В. Я. Ермакоў, А. А. Атрошчанка, М. П. Дзямід. – Мінск: БДТУ, 2002. – 498 с.
11. Атрощенко, О. А. Лесная таксация: учеб. пособие / О. А. Атрощенко. – Минск: БГТУ, 2009. – 468 с.
12. Федеральное космическое агенство [Электронный ресурс] / Информационно-аналитический центр. – М., 2013. – Режим доступа: <http://www.glonass-iac.ru>. – Дата доступа: 11.02.2013.
13. Сухих, В. И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве: учебник / В. И. Сухих. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. – 392 с.
14. Космические снимки [Электронный ресурс] / Компания «Совзонд». – М., 2013. – Режим доступа: <http://www.sovzond.ru>. – Дата доступа: 27.05.2013.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ВВЕДЕНИЕ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ	4
1.1. Понятие геоинформационной системы и история развития геоинформационных технологий.....	4
1.2. Классификация и структура геоинформационных систем	10
2. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	13
2.1. Системы координат и картографические проекции в ГИС	13
2.2. Модели пространственных данных геоинформационных систем.....	22
2.3. Атрибутивные данные ГИС	41
3. ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ В ГИС.....	53
3.1. Сущность и назначение пространственного анализа данных в ГИС	53
3.2. Виды пространственного анализа данных.....	55
3.3. Картографические анимации	63
4. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	67
4.1. Отличительные особенности программного обеспечения геоинформационных систем	68
4.2. Полнофункциональные геоинформационные системы	70
4.3. Специализированные геоинформационные системы.....	77
4.4. Векторизаторы	85
4.5. Системы обработки данных дистанционного зондирования.....	88
5. ОРГАНИЗАЦИЯ ДАННЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ТУРИЗМЕ	94
5.1. Источники данных геоинформационных систем в экологическом туризме	94
5.2. Ввод данных в геоинформационные системы.....	101
5.3. Использование систем глобального позиционирования в геоинформационных системах.....	109
5.4. Использование данных дистанционного зондирования в геоинформационных системах.....	120

6. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ТУРИЗМЕ	130
6.1. Использование геоинформационных технологий в задачах экологического туризма.....	130
6.2. Интернет-ГИС в экологическом туризме	133
6.3. Мобильные геоинформационные системы в экологическом туризме	143
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	147

Учебное издание

Пушкин Андрей Александрович

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ТУРИЗМЕ

Пособие

Редактор *Ю. Д. Нежикова*

Компьютерная верстка *Ю. Д. Нежикова*

Корректор *Ю. Д. Нежикова*

Издатель:

УО «Белорусский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/227 от 20.03.2014.

Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.